

**Универзитет у Београду**  
**Машински факултет**

**Радослав З. Рајковић**

**Вишекритеријумско одлучивање у**  
**транспорту контејнера**

**докторска дисертација**

**Београд, 2018.**

**University of Belgrade**  
**Faculty of Mechanical Engineering**

**Radoslav Z. Rajković**

**Multi-criteria decision making in container  
transport**

**PhD thesis**

**Belgrade, 2018.**

Комисија за преглед и одбрану:

Ментор:                    др Ненад Зрнић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет

Чланови Комисије: др Угљеша Бугарић, редовни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Ненад Косанић, ванредни професор  
Универзитет у Београду, Машински факултет

др Бранислав Драговић, редовни професор  
Универзитет Црне Горе, Факултет за поморство у Котору

др Сања Бојић, доцент  
Универзитет у Новом Саду, Технички факултет

Датум одбране: 03.07.2018.

*Мојем оцу*

*Све то не зависи од мене.*

*Сетим се како беше леп,  
над водама дубоким неким,  
као Месећ бео,  
са луком танким и меким,  
један мост.*

*И, видиш, то утеши ме.*

*Не зависи од мене.*

*Доста је да тог дана,  
земља око мене замирише преорана,  
или да облаци пролете,  
мало ниже,  
па да ме то потресе.*

*Не, не од мене.*

*Доста ће бити ако, једне зиме,  
из врта једног завејаног  
истрчи неко озебло, туђе, дете  
и загрли ме.*

## Предговор

Овај рад је настао после вишегодишњег истраживања на Машинском факултету Универзитета у Београду које сам спровео у оквиру свог усавршавања током докторских студија и паралелно кроз рад на националном пројекту TR36027: „Развој софтвера и националне базе података за стратешко управљање развојем транспортних средстава и инфраструктуре у друмском, железничком, ваздушном и водном саобраћају применом европских транспортних мрежних модела“, који финансира Министарство за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије. Такође, кроз вишегодишњи рад у привреди сам објединио теоријска и практична знања.

Велику захвалност дугујем свом ментору проф. др. Ненаду Ђ. Зрнићу, на несебичној помоћи и сугестијама у току израде и писања дисертације. Посебно му се захваљујем због помоћи, подршке и корисних савета у току целокупног школовања на докторским студијама.

Најискреније се захваљујем др. Александру С. Седмаку, редовном професору Машинског факултета, Универзитета у Београду, на подршци, разумевању и условима које ми је омогућио у току експерименталног рада докторске дисертације.

Неизмерно се захваљујем својој мајци на подршци, разумевању и помоћи. Извињавам се за све пропуштене тренутке.

Захваљујем се својим пријатељима, који су ми, свако на свој начин, помагали током свих ових година.

## **Вишекритеријумско одлучивање у транспорту контејнера**

### **Апстракт**

Контејнерски транспорт данас у оквиру светске глобализације привреде има веома важну улогу у превозу робе са константном тенденцијом раста. Предности контејнерског транспорта препознате су још 80-их година прошлог века, а односе се на целу привреду, па чак и друштво у целини. Повећава се број привредних субјеката укључених у процес, побољшана је координација и управљање транспортом, омогућено је остваривање учинака економије обима у модалитету превоза "од врата до врата", а све је то довело до смањења трошкова и повећања добити. Транспортни трошкови и транзитно време представљају два најчешће разматрана проблема приликом транспорта контејнера. Такође, ни емисија угљен-диоксида више се не може игнорисати: компаније имају моралну обавезу да послују на одржив начин, а купци постају све више и више свесни огромног утицаја на животну средину. Основни циљ докторске дисертације је поставка концепта којим се повезује више различитих видова транспорта и стварање новог генеричког знања за доношење најповољније одлуке у смислу више усвојених разнородних критеријума: транспортни трошкови, транзитно време, емисија угљен-диоксида. У раду је генерисан математички модел који пружа прилику да посматрамо, поред најповољнијег, и цео спектар потенцијалних решења, дајући нам могућност њиховог рангирања, посматрајући три разнородна критеријума истовремено. Такође, развијен је и посебан програмски пакет за процес унапређења пословања логистичких компанија кроз континуално праћење непрекидних промена на тржишту. Предност модела је да се може применити на различите чворове и контејнерске робне токове у транспортним мрежама узимајући у обзир концепт којим се повезује више различитих видова транспорта. У практичном домену, добијени резултати пружају могућност компанијама да доносе одлуке о транспортним рутама узимајући у обзир сва три посматрана критеријума истовремено, остављајући могућност одлуке у зависности од тежинских коефицијената који су у посматраном моменту најважнији.

**Кључне речи:** Контејнерски транспорт, вишекритеријумско одлучивање, транспортни трошкови, транзитно време, емисија угљен-диоксида, математички модел

**Научна област:** Машинство

**Ужа научна област:** Транспортно инжењерство, конструкције и логистика

**УДК број:** 621.869.88 : 338.58 : 519.8(043.3) ; 621.869.88 : 661.975 : 519.8(043.3)

## **Multi-criteria decision making in container transport**

### **Abstract**

Container transport today plays a very important role in the transport of goods with a constant tendency of growth in the context of global economic globalization. The advantages of container transport have been recognized since the 1980s, and they relate to the whole economy and even society as a whole. Increased number of business entities involved in the process, improved coordination and transport management, enabled the achievement of economies of scale in door-to-door modality, all of which led to cost savings and profit increases. Transportation costs and transit time are the two most commonly considered problems in container transport. Also, carbon dioxide emissions can no longer be ignored: on the one hand, companies have a moral obligation to operate in a sustainable way, and on the other hand, as customers become more and more aware of the enormous impacts on the environment. The main goal of the doctoral dissertation is the concept of multimodalism and the creation of a new generic knowledge for making the optimal decision in terms of more adopted heterogeneous criteria: transport costs, transit time, carbon dioxide emissions. In this paper a mathematical model is generated and provides the opportunity to observe, in addition to the optimal, full spectrum of possible solutions, giving us the possibility of their ranking, observing the three heterogeneous criteria at the same time. Also, a special software package for the process of improving the operations of logistics companies has been developed through the continuous monitoring of uninterrupted changes in the market. The advantage of the model is that it can be applied to different nodes and container merchandise flows in intermodal networks, taking into account concept of multimodalism by itself. In the practical domain, the expected results provide companies with the ability to make decisions about transport routes, taking into account all three optimized criteria, leaving the possibility of decision depending on the weight coefficients that are at the moment at stake as most important.

**Key words:** Container transport, multi-criteria decision making, transport costs, transit time, carbon dioxide emissions, mathematical model

**Scientific discipline:** Mechanical engineering

**Scientific subdiscipline:** Material handling, constructions and logistics

**UDC:** 621.869.88 : 338.58 : 519.8(043.3) ; 621.869.88 : 661.975 : 519.8(043.3)

# Садржај

1. Увод.....	3
1.1 Предмет истраживања.....	4
1.2 Циљеви и задаци истраживања.....	7
1.3 Хипотезе истраживања.....	9
1.4 Научне методе истраживања.....	10
1.5 Могућност примене добијених резултата.....	10
1.6 Структура дисертације.....	11
2. Стање у области.....	12
2.1 Контејнерски транспортни систем.....	13
2.2 Развој контејнерског транспорта.....	14
2.3 Појам одлучивања.....	21
2.4 Вишекритеријумско одлучивање.....	23
2.5 Начини и методе решавања вишекритеријумског одлучивања.....	24
2.6 Примена вишекритеријумског одлучивања у контејнерском транспорту.....	30
3. Опис проблема.....	44
3.1 Избор критеријума за одлучивање.....	45
3.2 Приступ решавању проблема.....	48
3.2.1 Вишеатрибутивно одлучивање.....	48
3.2.2 Примена модела вишеатрибутивног одлучивања (ВАО).....	49
3.2.3 Трансформација атрибута.....	50
3.2.4 Дефинисање тежинских коефицијената за критеријуме.....	52
4. Математички модел.....	53
4.1 Развијени математички модел.....	54
4.2 Валидација модела.....	60



5. Резултати рада.....	63
5.1 Улазни подаци.....	67
5.2 Сценарио 1.....	72
5.3 Сценарио 2.....	74
5.4 Сценарио 3.....	77
5.5 Сценарио 4.....	78
5.6 Сценарио 5.....	78
5.7 Сценарио 6.....	79
5.8 Сценарио 7.....	80
5.9 Сценарио 8.....	81
6. Закључна разматрања и предлог даљих истраживања.....	88
7. Литература.....	90
Прилог 1 .....	96
Прилог 2 .....	101
Биографија.....	113

# 1. УВОД

Интензитет и количина робних токова данас су постали мерило ефикасности и корисности транспорта, укључености у међународну поделу рада и степена привредне развијености једне државе. Будући да се више од 75 % укупне међународне робне размене одвија поморским путевима (Review of Maritime Transport, 2016), интензитет, смер, структура и динамика кретања поморских робних токова релевантни су показатељи концентрације светске размене добара, који упућују на значај и позиционираност светских центара производње и потрошње, то јест центра привредног развоја.

Значај контејнерског транспорта и уопште контејнеризације из године у годину је све већи, тако да са сигурношћу можемо рећи да је контејнеризација, нужна компонента у нашем друштву, битна за побољшање квалитета живота и даљи развој животног стандарда у свету. Савремени токови светске привреде захтевају висок ниво продуктивности у пратећим областима као што је транспорт робе. Често је потребно транспортовати робу у најкраћем могућем року на други крај света, а да се при томе она заштити од штетних утицаја околине, обезбеди од крађе и стигне на свој дестинацију у неизмењеном облику. Сама појава контејнера допринела је бржем и лакшем манипулисању робом која се транспортује увођењем јединствене товарне јединице. Стандардизација у овој области је неминовно довела до смањења времена претовара робе као и пратећих трошкова. Контејнерска револуција резултирала је великим променама у међународној трговини и један је од најважнијих доприноса глобализацији светске економије, док је превоз генералног терета контејнерима омогућио неоспорну остварљивост самог концепта међусобног повезивања различитих облика превоза. Предности контејнерског транспорта препознате су још 80-их година прошлог века, а односе се на целу привреду, па чак и друштво у целини. Повећава се број привредних субјеката укључених у процес, побољшана је координација и управљање транспортом, омогућено је остваривање учинака економије обима у модалитету превоза „од врата до врата“, а све је то довело до смањења трошкова и повећања добити. Корисници поморског контејнерског превоза такође су профитирали са развојем контејнеризације. Пре ере контејнерског транспорта, трошкови поморског превоза у цени производа

учествовали су са 5-10 %, а након што је контејнерски превоз постао уобичајен, тај се удео смањио на 1-1,5 % (Review of Maritime Transport, 2016).

Контејнери представљају везивну карику као кључни фактор транспортног система, чиме остварују значајне уштеде у времену, новцу, енергији и свим другим мање или више значајним ресурсима. Контејнеризација је омогућила уклапање ваздушног, воденог, друмског и железничког транспорта у транспортни ланац без потребе за сталним претоваром робе. Мањи број потребних радника, нижи трошкови и већа безбедност у транспорту робе су такође резултат имплементације. Да би контејнери остали фактор који позитивно утиче на развој привреде, мора се константно вршити ревизија стандарда и норми, као и тежити имплементацији нових технологија на начин на који ће се унапредити ефикасност целокупног логистичког ланца. Данас, контејнерски транспорт у оквиру светске глобализације привреде има веома важну улогу у превозу робе са константном тенденцијом раста.

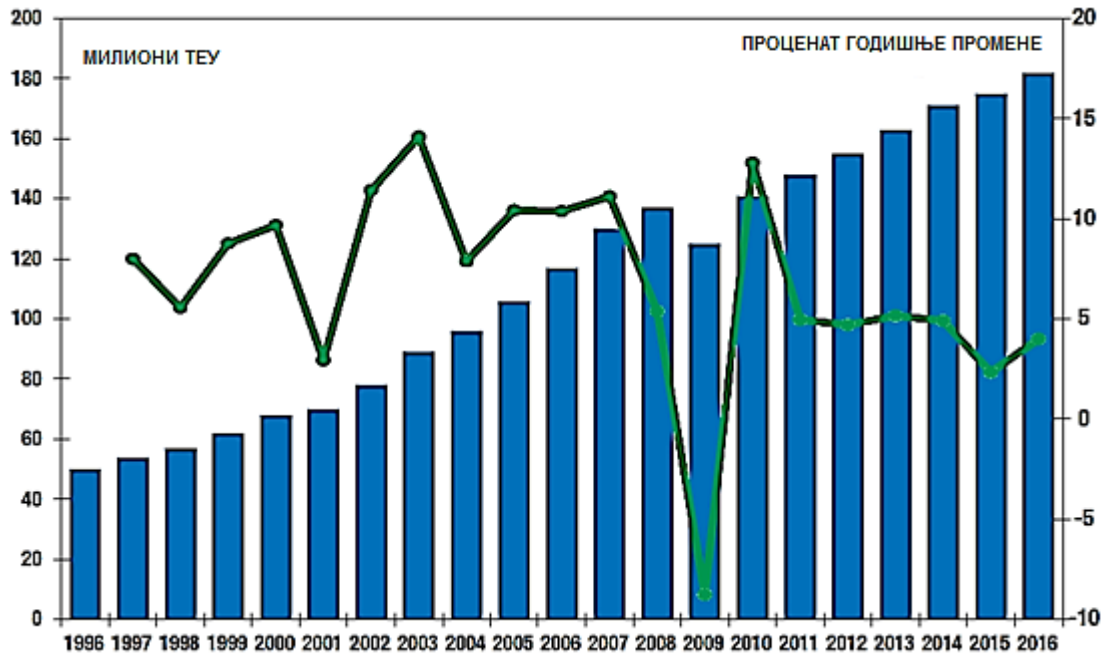
### **1.1. Предмет истраживања**

У току последњих деценија, контејнерска трговина је постала најбрже растући сегмент тржишта чинећи 17 % глобалне поморске трговине која сама узима учешће од 80 % укупне светске робне размене. У току 2015. године достигла је вредност од 175 милиона двадесетостопних контејнера (енгл. twenty-foot equivalent unit - TEU) и 1,69 милијарди тона. Контејнерска робна размена достигла је раст од 2,4 % у 2015., што је ниже у односу на раст од 5,4 % у току 2014. и 5,3 % у току 2014. године. На слици 1 приказан је контејнерски робни ток у периоду од 1996. до 2016. године (Review of Maritime Transport, 2016).

Када говоримо о контејнерским робним токовима можемо их поделити на 3 велике групације: контејнерски робни токови, континентални робни токови између региона (на челу са интер-азијском трговином) заједно са робним токовима на релацији југ-југ (укупно учешће у целокупној робној размени у току 2015. године износило је 40 %), контејнерски робни токови на релацији север-југ (18 %) и контејнерски робни токови на релацији исток-запад (42 %), (Review of Maritime Transport, 2016).

Контејнерска робна размена, континенталним путевима између региона порасла је 3,1 % у 2015. Интер-азијска трговина која чини више од 2/3 укупне регионалне размене порасла је 2,9 %, што је пад у односу на раст од 6 % у току 2014. Мањи пораст у односу на 2014. годину је у директној спреси са умањеним обимом увоза у Индонезију и Јапан.

Интер-азијска трговина међутим наставља са континуалним растом сходно измештању производних центра из Кине, порасту увоза на Филипине, Кореју, Вијетнам, као и робусном расту на релацији Азија-Јужна Азија (Clarksons Research, 2016).



Извор: Калкулације секретаријата UNCTAD, засноване на истраживању: Clarksons Research, Container Intelligence Monthly, various issues, and Drewry Shipping Consultants, 2008.

Слика 1. Промет контејнера у милионима ТЕУ за период 1996. – 2016.

Контејнерска робна размена на релацији север-југ повећана је 1,4 % у току 2015. године, достигавши 30,8 милиона ТЕУ. Ограничен раст је последица смањеног обима увоза у Африку и Латинску Америку, која превасходно резултира поред различитих фактора, политичким немирима у бројним Северно Афричким земљама као и рецесији у Бразилу.

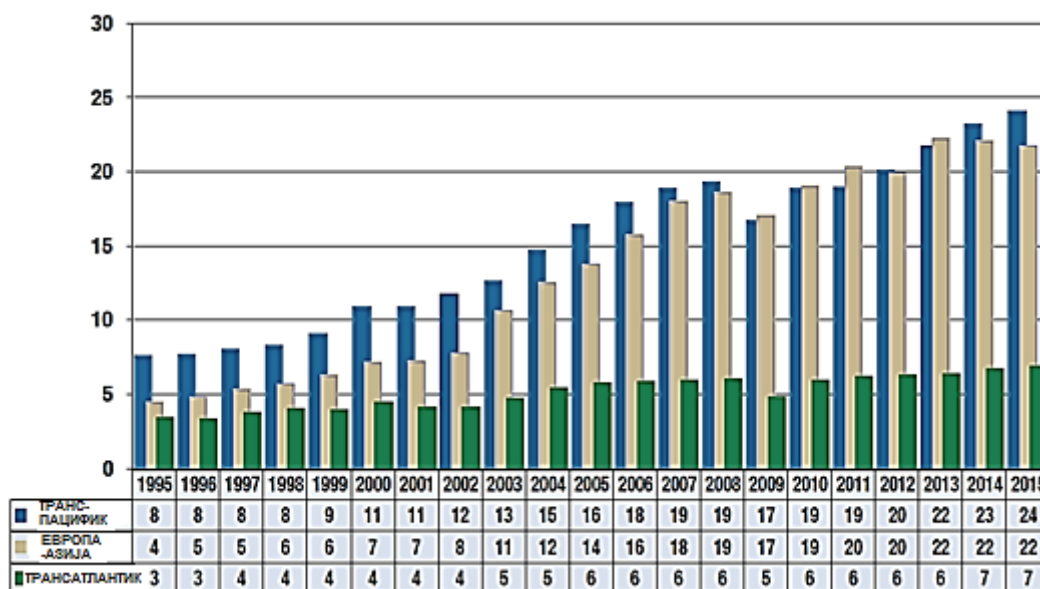
Обим транспорта на рути исток-запад повећан је 1,2 % у 2015. години, достигавши 52,5 милиона ТЕУ. Раст је ограничен негативном перформансом (-2.2 %) на релацији Европа-Азија (слика 2), што је реакција на мању потражњу у Европи, прилагођавања малопродајним залихама, слабљењу евра и негативном утицају на једностране мере принуде на обим увоза у Русију. Три главна робна тока на релацији исток-запад трговачких путева (Азија-Европа, Транспацифик и Трансатлантик) спајају и 3 главна економска региона Азију (посебно Кину), производни центар света, Европу и Северну Америку који уједно представљају скоро 80 % светског бруто друштвеног производа

(БДП) према студијама из 2012. године (UNCTAD - Статистичка база података, 2014). Табела 1 (Калкулације секретаријата UNCTAD, засноване на „MDS Transmodal“ светској бази података) приказује флукуацију контејнера на три главне руте у оквиру робног тока исток-запад за период 2014. - 2015. док слика 2 (Калкулације секретаријата UNCTAD, засноване на истраживањима: Clarksons Research (2009–2013)) приказује преглед у периоду између 1995. и 2015. године.

**Табела 1.** Промет контејнера на три главне руте у оквиру робног тока исток-запад за период 2014. – 2015. (у милионима ТЕУ)

	Транс-Пацифик		Европа - Азија		Трансатлантик	
	Источна Азија - Северна Америка	Северна Америка - Источна Азија	Азија - Европа	Европа - Азија	Европа - Северна Америка	Северна Америка – Европа
<b>2014</b>	15,80	7,40	15,20	6,80	3,90	2,80
<b>2015</b>	16,80	7,20	14,90	6,80	4,10	2,70
<b>Процент промене, 2014 - 2015</b>	6,60	-2,90	-2,20	0,00	5,40	-2,40

Извор: Калкулације секретаријата UNCTAD, засноване на „MDS Transmodal“ светској бази података.



Извор: Калкулације секретаријата UNCTAD, засноване на истраживању: Clarksons Research (2009–2013), Container Intelligence Monthly, „MDS Transmodal“ светска база података (2009–2015) и Економска комисија Уједињених нација за Латинску Америку и Карибе, 2010.

**Слика 2.** Промет контејнера на три главне руте у оквиру робног тока исток-запад за период 1995. – 2015. (у милионима ТЕУ)

С обзиром на велику и сталну борбу на тржишту са ценама производа, веома важану и неопходану улогу представља контејнерски транспорт са јасним задатком да дефинише коначну цену производа. Корисници превоза захтевају често, тачне и поуздане имплементације транспорта. Са повећањем вредности робе расте и значај брзине превоза, као важне компоненте у ланцу снабдевања. Контејнерски транспорт као програмиран ланац транспорта проузрокован тачним временом хармонизује превоз за све учеснике у ланцу. Свако одступање од временског распореда приликом транспорта робе, за крајњег корисника као резултат може имати негативне последице, које доводе до нередовних испорука - кашњења и уских грла. Транспортни трошкови и транзитно време представљају два најчешће разматрана проблема приликом транспорта контејнера, када су у питању сами процеси планирања контејнерских робних токова. Емисија угљен-диоксида као једног од гасова који највише утиче на ефекат стаклене баште и промену климе, један од највећих изазова са којима се суочава наша генерација, приликом планирања ланца снабдевања више се не може игнорисати: с једне стране јер компаније имају моралну обавезу да послују на одржив начин, а са друге стране јер купци постају све више и више свесни огромног утицаја на животну средину.

Дакле, као значајни и веома важни проблеми у анализи контејнерских робних токова издвајају се проблеми у одлучивању трошкова превоза, транзитног времена и емисије гасова. Одлучивање је одређивање решења које је најповољније према дефинисаном критеријуму и које задовољава сва дата ограничења. Све је већа потреба за истовременим одлучивањем више наведених критеријума.

Предмет истраживања у овом раду јесте истовремено одлучивање за више разнородних критеријума приликом транспорта контејнера: транзитно време, транспортни трошкови и емисија гасова. У оквиру ове докторске дисертације биће спроведена истраживања робних токова у транспортним мрежама, конципирана на изради јединственог математичког модела.

## **1.2. Циљеви и задаци истраживања**

Мали број истраживача је посматрао контејнерски транспорт истовремено узимајући у обзир више критеријума. У већини случајева су развијени модели за одлучивање који се заснивају на минимизацији једног параметра, најчешће трошак превоза контејнера. Само неколико модела интегрише и време транспорта као други одлучујући параметар.

На основу досадашњих истраживања и развијених алгоритама за одлучивање код контејнерских робних токова дефинисана је идеја израде математичког модела за истовремену анализу више различитих критеријума. Адекватан начин да се донесе најповољнија одлука у условима постојања више разнородних критеријума, који су често и међусобно супротстављени, јесте да се користе методе вишекритеријумског одлучивања. Због тога се у оквиру ове докторске дисертације приступа тражењу најповољнијег решења из низа допустивих решења у смислу више усвојених критеријума: минимално транзитно време, најнижи транспортни трошкови и минимална емисија гасова приликом транспорта контејнера, узимајући истовремено у обзир поморску и копнену транспортну мрежу.

Доношење одлука уз помоћ вишекритеријумских еволуционих алгоритама, може помоћи компанијама у унапређењу пословања кроз агилно реаговање на непрекидне промене на тржишту узимајући у обзир све релевантне параметре. Суштина је у томе да се дефинише одговарајући математички модел који ће омогућити доношење одлука на основу детаљне анализе и поређења предности транспорта различитих типова контејнера, преко већег броја расположивих оператера на свим могућим рутама.

Као такав модел омогућава:

- 1) ефикасну анализу низа допустивих решења у смислу више усвојених разнородних критеријума узимајући истовремено у обзир поморску и копнену транспортну мрежу, различите видове транспорта, већи број расположивих оператера и различите типове контејнера;
- 2) комплексну анализу применом постојећих солверских решења, где се кроз компатибилност постиже кратко време извршавања програма;
- 3) могућност генерисања целокупног скупа потенцијалних решења и њихово рангирање са аспекта више разматраних критеријума на основу дефинисаних тежинских коефицијената.

Општи научни циљ докторске дисертације је допринос стварању новог генеричког знања неопходног за изградњу савремених мрежних модела за решавање практичних проблема у контејнерском транспорту.

Посебан научни циљ докторске дисертације је дефинисање математичког модела за доношење одлука у контејнерском транспорту, применом комплексне анализе већег броја утицајних варијабли и одлучујућих критеријума, који ће имати практичну примену.

Адекватност примене вишекритеријумског приступа и верификација дефинисаног математичког модела показаће се на примеру транспорта контејнера између Далеког истока и Србије.

### **1.3. Хипотезе истраживања**

Ова докторска дисертација полази од следећих хипотеза које су у основи базиране на претпоставкама које су изведене из прелиминарних истраживања које је кандидат спровео у оквиру свог усавршавања током докторских студија и паралелно кроз рад на пројекту TR36027, а који су презентирани стручној и научној јавности кроз саопштења на домаћим и међународним скуповима и научним чланцима објављеним у часописима.

#### Хипотеза 1

Анализом низа допустивих решења применом више усвојених разнородних критеријума: минимално транзитно време, најнижи транспортни трошкови и минимална емисија угљен диоксида, узимајући истовремено у обзир поморску и копнену транспортну мрежу, више расположивих оператера и различите врсте контејнера, омогућава се доношење најповољније одлуке у транспорту контејнера.

#### Хипотеза 2

Могућност генерисања целокупног скупа потенцијалних решења и њихово рангирање са аспекта више разматраних критеријума, на основу тежинских коефицијената дефинисаних од стране самог корисника омогућава утицај емпиријског приступа у доношењу одлука, што има велики значај за примену математичког модела у пракси.

#### Хипотеза 3

Овако дефинисан математички модел са већим бројем релевантних варијабли, вишекритеријумском анализом и емпиријским приступом, представља искорак у односу на постојеће методе и софтверска решења, јер, кроз дефинисане варијабле и критеријуме, осим презентације најповољнијег решења нуди могућност субјективне анализе.



#### **1.4. Научне методе истраживања**

У стварању математичког модела у оквиру ове дисертације биће коришћене следеће истраживачке методе које су уско повезане са концептом нове примењене методе за решавање проблема вишекритеријумског одлучивања у контејнерском транспорту:

- 1) апостериори методе у којима се доносилац одлуке (ДО) информише о доминантним (Парето оптималним) решењима математичког модела и на основу њих доноси коначну одлуку.
- 2) априори методе у којима ДО треба унапред, пре решавања задатка ВКО, да искаже свој однос према критеријумима. Ово може да се уради утврђивањем приоритета или хијерархије критеријума, додељивањем тежина појединим критеријумима, одређивањем релативних односа између свака два критеријума или на неки други начин. На основу тога аналитичар треба решавањем задатка да предложи ДО једно решење које највише одговара његовим исказаним преференцијама.
- 3) интерактивни приступ обухвата методе које комбинују априорни и апостериорни приступ са активним учешћем ДО. Приступ се заснива на непрекидном коришћењу рачунара у фази одлучивања и кориснички реализованом окружењу. Савремени софтверски алати треба да пруже доносиоцу одлуке снажну подршку у експериментисању са различитим скуповима својих преференци. Једноставно и брзо обављање разноврсних анализа треба да олакшају доносиоцу одлуке коначни избор.

У циљу провере развијених теоријских метода и тестирања полазних хипотеза, биће примењене експерименталне методе истраживања спровођењем одговарајућих математичких анализа.

#### **1.5. Могућност примене добијених резултата**

Научни допринос истраживања спроведених у оквиру ове докторске дисертације, доприноси развоју нових еволуционих алгоритама, који пружају могућност једноставног и брзог доношења одлуке у комплексним транспортним системима приликом вишекритеријумског одлучивања у контејнерском транспорту.

Посебно, истраживања која су спроведена у оквиру ове дисертације, приказују генерисање математичког модела који пружа прилику да се посматра цео спектар свих могућих решења, дајући могућност њиховог рангирања, посматрањем три разнородна критеријума истовремено.

Дакле, дефинисани математички модел даје научни допринос кроз:

- 1) развој еволуционог алгоритма базираног на развоју јединственог математичког модела за вишекритеријумско доношење одлуке;
- 2) генерисање математичког модела који пружа могућност одабира пондера у зависности од важности интересног критеријума;
- 3) генерисање математичког модела који пружа могућност рангирања сви могућих решења;
- 4) генерисање математичког модела који омогућава истовремено посматрање више разнородних критеријума са могућношћу укључивања нових критеријума
- 5) адекватност примене математичког модела на различите чворове са могућношћу укључивања већег броја чворова.

Предност овог модела јесте његова примена у пракси на различите комплексне транспортне системе узимајући у обзир више различитих видова транспорта, оператера и врста контејнера. У практичном домену, резултати пружају могућност компанијама да доносе одлуке о транспортним рутама узимајући у обзир сва три посматрана критеријума одлучивања, остављајући могућност одлуке у зависности од тежинских коефицијената који су у посматраном моменту најважнији.

Планирани математички модел је имплементиран као посебан програмски пакет у компанијама у процесу унапређења пословања кроз континуално праћење непрекидних промена на тржишту како би се упоређивале разлике које постоје.

## **1.6. Структура дисертације**

Сходно дефинисаном предмету и циљевима истраживања, дисертација се састоји од седам поглавља.

У првом поглављу дата су уводна разматрања, дефинисан је предмет истраживања, постављени су основни циљеви и задаци истраживања, дефинисане су полазне хипотезе, приказане су научне методе истраживања као и могућности примене очекиваних резултата.

Друго поглавље приближава сам термин контејнерског транспорта, објашњава проблем вишекритеријумског одлучивања и приказује досадашња истраживања у области. Објашњени су начини и методе ранијих истраживања, као и најчешће примењивани модели за решавање проблема контејнерског транспорта, дефинисани уз помоћ математичког програмирања.

У трећем поглављу, приказан је развој модела вишекритеријумске оптимизације, постепеним умрежавањем разнородних критеријума: цена транспорта, време транспорта, емија гасова, као и приступ решавању проблема.

Четврто поглавље презентује начин решавања и дефинише опис развијеног математичког модела. Такође, даје приказ методе динамичког програмирања.

У поглављу број пет анализирани су и представљени резултати рада.

Поглавље шест представља закључна разматрања у вези са применом дефинисаног модела и даје предлог за будућа истраживања.

Последње, седмо поглавље представља преглед коришћене литературе приликом конципирања дисертације.

## **2. СТАЊЕ У ОБЛАСТИ**

Између бројних робних терминала и других логистичких субјеката успостављају се стални или повремени транспортни ланци које креирају бројни оператори. У неким мрежама остварују се десетине па чак и стотине транспортних ланаца што за оператере превоза представља озбиљан организациони проблем. Транспортни ланци реализују се у простору и времену различитим видовима транспорта, по различитим мрежама, између два или више терминала различитим начинима макро организације и карактеристикама возила. Ланац може бити врло сложен, посебно код копнено-водних технологија, у смислу његовог приказивања са великим бројем комбинација његове реализације, што је касније потребно и нумерички описати у циљу његовог одлучивања. Планирање реализације ланаца (укључујући руте и распореде транспортног система) припада најсложенијем и врло компликованом одлучивању о проблему који захтева много рачунарског напора уз координацију посебних планова за различите режиме превоза. У

многим стварним ситуацијама, у одлуку избора најповољнијег транспортног решења, укључује се нелинеарност одређених ситуација, што додатно компликује решење.

Сва сложеност ланца указују да је транспортни ланац отворен, динамичан и стохастички недетерминисан процес који се идентификује у спољном транспорту у виду макротехнологије, и делом у местима почетно-завршних операција. Начелно, када се посматра физичка дистрибуција говори се о транспортним ланцима, а са аспекта организационих система, нпр. привредним друштвима чешће се говори о логистичким ланцима или ланцима снабдевања.

## **2.1. Контејнерски транспортни систем**

Један од кључних разлога брже експанзије контејнерског транспорта је концепт контејнерских транспортних система у којима се контејнери веома лако преносе са једног на друго транспортно средство. Контејнерски транспортни систем дефинише се као транспорт јединичног терета посредством превозних средстава више транспортних грана на начин да се максимално искористе компаративне предности сваке коришћене транспортне гране.

Сваки вид транспорта у оквиру једне транспортне мреже има своје географске, технолошке и економске домене са конкретним предностима, које се у одређеним условима могу претворити у монопол. Постојање више видова транспорта нужно води међусобној конкуренцији, која у одређеним условима може деловати и позитивно на усавршавање технологије и повећање продуктивности рада. Поједини видови упућени су на међусобну сарадњу у виду кооперације и координације у пословању и развоју, при чему долази до интеграције процеса. Интегрисањем процеса код савремених технологија транспорта постиже се висок степен јединства технологије, стандардизације јединица терета и целокупне техничке базе на целом превозном путу, од пошиљаоца до примаоца. Интегрисање процеса резултирало је повећањем обима и брзине превоза код свих видова транспорта, као и кооперацију и координацију разних видова транспорта при обављању транспортних услуга на читавом превозном путу, од произвођача до потрошача, применом различитих техничких средстава и технологија транспорта. Циљ савремених технологија транспорта није само уштеда у трошковима и убрзање превоза, већ поједностављење операција и процеса и економско оправдање превоза терета на читавом превозном путу.

Када се говори о контејнерским транспортним системима онда се најчешће подразумевају контејнерски SMART ланци, на којима се инсистира у ЕУ по принципу превоза од врата до врата чиме се остварују ефикасан, безбедан, компетентан ланац, интероперабилан са најмањим бројем претовара. Код копнено-поморских транспортних ланаца обезбеђује се адекватна кооперација између више видова транспорта. Значајну карику у реализацији ових транспортних ланаца представљају лучки терминали у којима се сучељавају важни транспортни праваци друмског и железничког транспорта, и где се обавља прикупљање, претовар и припрема терета и теретних јединица. Код ових ланаца копнена транспортна средства имају функцију одвоза-довоза, поморска средства функцију главног превозника. На слици број 3 (Montori и др, 2014) приказан је контејнерски транспортни систем, процес транспорта контејнера од пошиљаоца до примаоца.



Извор: Montori и др: „WiderMoS, a new way to make better business by using the EU Core Network Corridors and Smart Logistics“, Конференција: Maritime Transport 2014, Барселона 2014

**Слика 3.** Комбиновани транспортни ланац

## 2.2. Развој контејнерског транспорта

Од појаве првог контејнера, односно "покретаног сандука", прошло је више од 100 година, тако да је данас на располагању велики бројнових типова контејнера са новом опремом за манипулисање, технолошким захтевима, новим облицима организације превоза, великом применом информатичких технологија и др. Постоји много дефиниција шта је контејнер и која је његова намена, шта је контејнеризација и који су њени саставни елементи. Многи аутори дефинишу контејнер као "покретни сандук", "сандук за

амбалажу" или "опрему за утовар робе" и сл. Међународна организација за стандардизацију (ISO) дефинише, да је "контејнер суд правоугаоног пресека, непромочив, који се примењује за транспорт и складиштење извесног броја теретних јединица, комадних попиљки или робе у расутом стању, штити његову садржину од кварења и губитака, може се одвојити од транспортног средства и може се претоварити без истовременог истовара робе". Контејнерски систем транспорта јавља се као последица преласка са конвенционалних на механизоване и аутоматизоване технолошке операције у транспортном ланцу са теретним јединицама велике масе и запремине. Технолошки представља, суштинску меру рационализације и интегративни елемент у коме се хомогенизују јединице терета које у транспорту остају, јединствене на целом превозном путу од попиљкоца до примаоца, очуване у првобитно формираном облику, где поред транспортне обједињује складишну, заштитну и информативну улогу.

Контејнери се могу поделити по више основа, али је најважнија подела према техничко-технолошким карактеристика, односно намени:

- 1) универзални контејнери, тзв. "Standard dry freight", су првенствено намењени за превоз амбалажиране комадне робе и сачињавају скоро 70 % контејнерског парка у свету (у неким земљама тај број се креће од 95 % до 100 %)
- 2) специјални контејнери, су намењени за превоз једне или неколико врста роба (комадне, расуте и течне) за које се морају обезбедити посебни услови превоза

Контејнери се даље могу поделити према:

- 1) запремини: мали (категорија А запремине од 1 до 1,2 m<sup>3</sup>); категорија В запремине од 1,2 до 2 m<sup>3</sup> и категорију С од 2 до 3 m<sup>3</sup>); средњи (запремине од 3 до 21 m<sup>3</sup> дужине мање од 6 m и бруто тежине од 2,5 до 5 t); велики (запремине веће од 10 m<sup>3</sup> и дужине веће од 6 m); супер велики (запремине веће од 40 m<sup>3</sup>, дужине веће од 12 m и висине веће од 2,69 m),
- 2) врсти материјала: челик, легуре алуминијума и магнезијума, вишеслојни импрегнирани шпер, дрво, пластичне масе, стаклено влакно и други вештачки материјали,
- 3) конструкцији: затворене, отворене или скелетне; нерасклапајуће, расклапајуће или селекцијске; са једним или више врата, са покретним страницама или кровом и са покретним дном,

- 4) виду превоза у коме се користе: у копненом и поморском транспорту и посебних облика у ваздушном транспорту,
- 5) врсти механичких термичких уређаја: изотермички (фриго), са агрегатима на сопствени погон за расхлађивање, са могућношћу снижавања температуре помоћу азота, термички за загревање и др.,
- 6) стандардима: ISO контејнери (контејнери за све услове - трансконтејнери), ASA контејнери;
- 7) генерацији: I (A,B,C и D), II (AX,BX,CX,DX), III (AA,BB,CC.), IV (AAA), при чему су основне разлике у опреми и висини (мање од 8', 8`6" и 9`6").
- 8) класама: класа 1. ширине 2438 mm; класа 2. ширине 2500 mm (европски контејнер у који стаје 14 стандардних палета у основи, што је за 27 % више у односу на 1 класу); класа 3. ширине 2500 до 2600 mm са одржавањем температуре и класа 4. ширине 2600 mm и максималне таре 5.200 kg од 5.500 kg. Све класе контејнера имају могућност слагања у три нивоа.

На сликама 4 и 5 приказани су основни типови и димензије контејнера у поморском транспорту према ISO стандарду.



**STANDARD 20'**

УНУТРАШЊА ДУЖИНА	19'4"	5.89 m
УНУТРАШЊА ШИРИНА	7'8"	2.33 m
УНУТРАШЊА ВИСИНА	7'10"	2.38 m
ШИРИНА ВРАТА	7'8"	2.33 m
ВИСИНА ВРАТА	7'6"	2.28 m
КАПАЦИТЕТ	1,172 ft <sup>3</sup>	33.18 m <sup>3</sup>
ТЕЖИНА КОНТЕЈНЕРА	4,916 lb	2,229 kg
ТЕЖИНА ТОВАРА МАХ	47,999 lb	21,727 kg

**Слика 4.** Стандардни контејнер - 20'



	<i>STANDARD 40'</i>		<i>HIGH CUBE 40'</i>	
<i>УНУТРАШЊА ДУЖИНА</i>	39'5"	12.01 m	39'5"	12.01 m
<i>УНУТРАШЊА ШИРИНА</i>	7'8"	2.33 m	7'8"	2.33 m
<i>УНУТРАШЊА ВИСИНА</i>	7'10"	2.38 m	8'10"	2.69 m
<i>ШИРИНА ВРАТА</i>	7'8"	2.33 m	7'8"	2.33 m
<i>ВИСИНА ВРАТА</i>	7'6"	2.28 m	8'5"	2.56 m
<i>КАПАЦИТЕТ</i>	2,390 ft <sup>3</sup>	67.67 m <sup>3</sup>	2,694 ft <sup>3</sup>	76.28 m <sup>3</sup>
<i>ТЕЖИНА КОНТЕЈНЕРА</i>	8,160 lb	3,701 kg	8,750 lb	3,968 kg
<i>ТЕЖИНА ТОВАРА МАХ</i>	59,040 lb	26,780 kg	58,450 lb	26,512 kg

**Слика 5.** Стандардни контејнер - 40'

Транспорт контејнера на поморским путевима обавља се контејнерским бродовима у склопу технике назване контејнеризација. Развој контејнерских бродова прати и развој контејнеризације. Премда се почеци контејнеризације прате од 1780., или чак раније, глобална стандардизација контејнера и опреме за руковање контејнерима једно је од битних логистичких иновација 20. века. Дужина контејнерских бродова премашила је дужину највећих танкера у служби, те се планирају и још веће јединице. Тренутно највећи контејнерски брод, OOCL Hong Kong (слика 6), има капацитет 21.413 ТЕУ-ца. У табели 2 ([https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_largest\\_container\\_ships](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_container_ships)) приказано је 10 највећих контејнерских бродова на свету .



**Табела 2.** Десет највећих контејнерских бродова на свету

Година изградње	Име брода	Дужина (m)	Ширина (m)	Носивост (ТЕУ)	Име бродара
2017	OOCL Hong Kong	399,87	58,80	21.413	OOCL (Hong Kong)
2017	Madrid Maersk	399,00	58,60	20.568	Maersk (Denmark)
2017	MOL Triumph	400,00	58,80	20.170	MOL (Japan)
2016	MSC Jade	398,45	59,07	19.224	MSC (Switzerland)
2016	MSC Ditte	398,43	59,08	19.224	MSC (Switzerland)
2016	MSC Reef	398,43	59,08	19.224	MSC (Switzerland)
2016	MSC Mirja	398,43	59,08	19.224	MSC (Switzerland)
2016	MSC Erica	398,43	59,08	19.224	MSC (Switzerland)
2017	MSC Tina	398,43	59,08	19.224	MSC (Switzerland)
2016	MSC Diana	399,99	58,84	19.224	MSC (Switzerland)

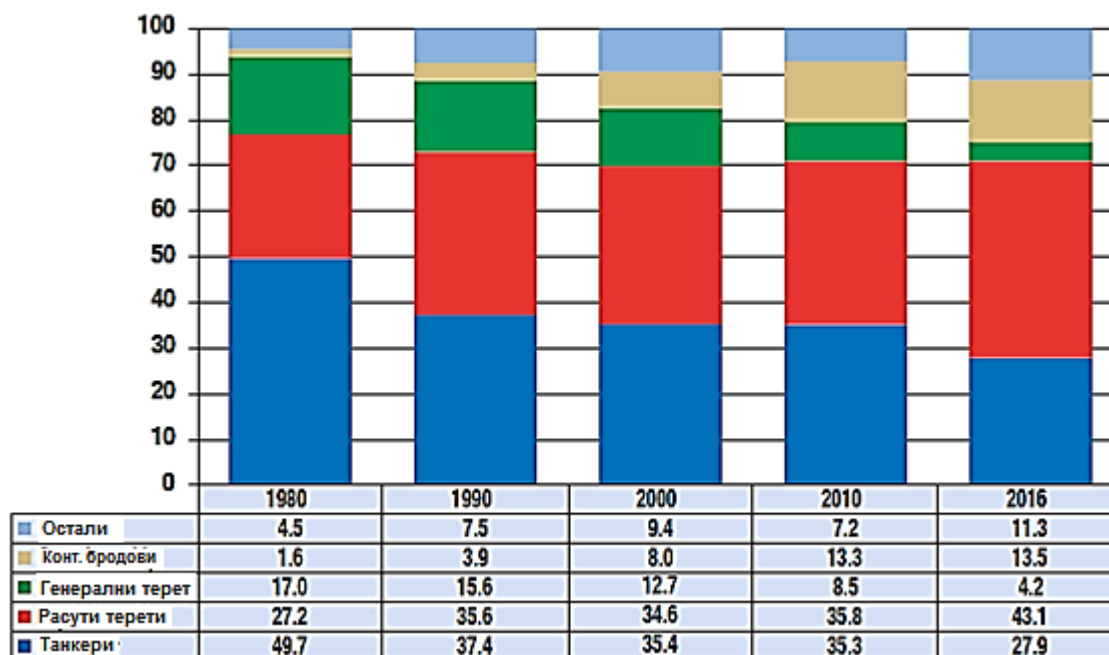
*Извор: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_largest\\_container\\_ships](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_container_ships)*



*Извор: Лука Felixstowe*

**Слика 6.** Контејнерски брод – "OOCL Hong Kong"

У периоду између 1980. и 2016. године удео контејнерских бродова у укупној носивости (енгл. deadweight tonnage-dwt) се повећао 8,44 пута. У јануару 2016. године од укупних 1,8 милијарди dwt-а контејнерски бродови имали су удео од 13,5 % што је вредност од укупно 2,44 милиона dwt-а. На слици 7 (Review of Maritime Transport, 2016) приказано је процентуално учешће различитих типова бродова у укупној вредности dwt-а.



Извор: Саставио секретаријат UNCTAD -а, на основу података достављених од стране Clarkson Research Services и претходних издања *Review of Maritime Transport*

**Слика 7.** Процентуално учешће различитих типова бродова у укупној вредности dwt-а у периоду од 1980. до 2016. године

У току 2015. године изграђено је 211 контејнерских бродова, што знатно мање у односу на рекорд остварен у току 2008. године (436 бродова). Међутим, у погледу капацитета 2015. година забележила је рекорд од 1,68 милиона ТЕУ-са, што је пораст 12,7 % у односу на 2014. годину и 12,4 % у односу на 2008. годину. Просечна величина новоизграђених контејнерских пловила забележила је раст 132 % у току последњих седам година.

У табели 3 (*Review of Maritime Transport, 2016*) приказана је старосна структура контејнерске флоте од 1. јануара 2016. године (процент укупних бродова и dwt).

**Табела 3.** Старосна структура контејнерске флоте (процент укупних бродова и dwt)

Старост бродова (година)	0–4	5–9	10–14	15–19	20 +
Бродови (%)	19,47	33,45	19,36	17,15	10,57
Dwt (%)	33,42	33,94	17,94	10,51	4,19
Просечна величина брода (dwt)	79 877	71 220	43 141	28 561	8 425

Извор: Саставио секретаријат UNCTAD-а, на основу података достављених од стране Clarkson Research Services.

Данас постоји 5.988 контејнерских бродова, који плове у линијској пловидби са укупно 490 транспортних рута (сервиса) који покривају различите релације (табела 4) (Review of Maritime Transport, 2016). У току једне године контејнерски брод пређе  $\frac{3}{4}$  пута удаљености до Месеца. То значи да у свом веку 10 пута превали пут до Месеца и назад.

**Табела 4.** Контејнерски бродски сервиси

<b>РУТЕ</b>	<b>СЕРВИСИ</b>
<b>Far East-North America</b>	73
<b>North Europe-Far East</b>	28
<b>Far East-Mediterranean</b>	31
<b>North Europe-North America</b>	23
<b>Mediterranean-North America</b>	21
<b>Europe-Mid-East/South Asia</b>	40
<b>North America-Mid-East/South Asia</b>	10
<b>Far East-Mid-East/South Asia</b>	72
<b>Australasia</b>	34
<b>East Coast South America</b>	26
<b>West Coast South America</b>	48
<b>South Africa</b>	24
<b>West Africa</b>	60
<b>Укупно</b>	<b>490</b>

*Извор: Drewry Container Forecaster Q1 & Q2 2013*

Према подацима валидним из јуна 2017., компанија АРМ Маерск–МСК са седиштем у Копенхагену, сматра се највећим светским контејнерским превозником, када се посматра укупна носивост мерена у ТЕУ јединицама. Велике компаније (у смислу укупног возног парка), такође имају тенденцију да граде веће бродове. Већина главних бродара поседују приближно једну трећину њиховог возног парка (ТЕУ) у бродовима од 10.000 ТЕУ или већих, приближно једну трећину у 5.000-9.999 ТЕУ, док је једна трећина контејнера носивости на бродовима од 4.999 ТЕУ. Генерално, на Транс-Атлантик и Транс-Пацифик контејнерским рутама плове бродови носивости између 5.000 ТЕУ и 13.000 ТЕУ, док се пловидба на релацији Азија-Европа обавља бродовима носивости преко 13.000 ТЕУ. Бродови од 5.000 ТЕУ су углавном концентрисани на пловидбу на интер-регионалним, мањим (енгл. *feeder*) и север-југ релацијама трговачких путева. На слици 8 (<https://alphaliner.axsmarine.com/PublicTop100/>) приказан је списак 10 највећих бродарских компанија на свету.

Ранг	Бродар	Укупно		У власништву		Дељено			У изradi		
		Теу	Брод	Теу	Брод	Теу	Брод	% Дељено	Теу	Брод	% постојеће
1	APM-Maersk	3,411,322	635	1,665,556	244	1,745,766	391	51.2%	347,822	25	10.2%
2	Mediterranean Shg Co	3,080,959	513	1,080,849	190	2,000,110	323	64.9%	170,050	15	5.5%
3	CMA CGM Group	2,312,321	462	893,211	115	1,419,110	347	61.4%	180,126	18	7.8%
4	COSCO Shipping Co Ltd	1,737,335	313	484,025	81	1,253,310	232	72.1%	524,520	31	30.2%
5	Hapag-Lloyd	1,527,156	220	992,670	115	534,486	105	35%	29,986	2	2%
6	Evergreen Line	1,023,315	194	548,041	105	475,274	89	46.4%	296,000	34	28.9%
7	OOCL	695,222	106	432,152	55	263,070	51	37.8%	107,065	5	15.4%
8	Yang Ming Marine Transport Corp.	578,607	95	209,150	45	369,457	50	63.9%	84,198	6	14.6%
9	NYK Line	572,951	100	267,544	45	305,407	55	53.3%	140,130	10	24.5%
10	Hamburg Süd Group	562,764	105	313,508	46	249,256	59	44.3%	30,640	8	5.4%

Извор: *Alphaliner top 100*

**Слика 8.** Списак 10 највећих контејнерских бродара

Контејнерске луке се сматрају споном морских и копнених путева. У табели 5 (Review of Maritime Transport, 2016) приказано је 10 најфреквентнијих лука у контејнерском транспорту.

**Табела 5.** 10 најфреквентнијих светских лука за период до 2011. до 2015. године у милионима ТЕУ

	2011	2012	2013	2014	2015
<i>Shanghai</i>	31,74	32,53	33,62	35,29	36,54
<i>Singapore</i>	29,94	31,65	32,60	33,87	30,62
<i>Shenzhen</i>	22,57	22,94	23,28	24,03	24,20
<i>Ningbo-Zhoushan</i>	14,72	16,83	17,33	19,45	20,63
<i>Hong Kong</i>	24,38	23,12	22,35	22,23	20,07
<i>Busan</i>	16,18	17,04	17,69	18,65	19,45
<i>Qingdao</i>	13,02	14,50	15,52	16,62	17,47
<i>Guangzhou</i>	14,42	14,74	15,31	16,16	17,22
<i>Dubai</i>	13,00	13,30	13,64	15,25	15,60
<i>Tianjin</i>	11,59	12,30	13,01	14,05	14,11

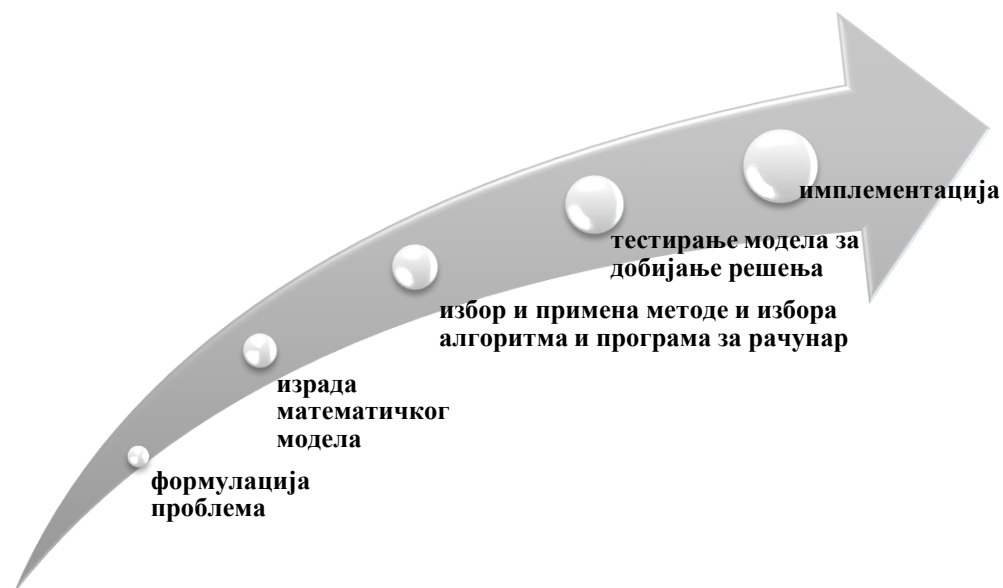
Извор: *Review of Maritime Transport, 2016*

### 2.3. Појам одлучивања

Одлучивање има за циљ да изврши избор најповољније варијанте из низа могућих алтернатива, или из низа понуђених алтернатива, што у математичком смислу значи тражење екстремума критеријумске функције. Одлучивање се врши применом различитих метода у зависности од типа релација у математичком моделу, критеријумске

функције и ограничења, чиме одређује најповољније решење одређеног математички дефинисаног проблема. Фаворизовано најповољније решење има велику шансу да на крају буде стварно најповољније као добар компромис између различитих конфликтних интереса учесника. Такође, опстанак као најповољније решење подразумева да нема лоше критеријумске показатеље због којих би остали предлози имали разлог да га не прихвате. Она проучава како да се опише и постигне оно што је најповољније, под условом да се може мерити оно што је добро, а шта не. Фактички је немогуће узети све услове за формирање математичког проблема, па се радије анализирају посебно делови система, а затим се на основу добијених резултата размотри цео систем. Дакле, као основни задатак одлучивања може се подразумевати избор најповољније варијанте из низа могућих или повољних варијанти у смислу усвојеног критеријума. Она обухвата само један део проблема планирања или коришћења система. Да би са свих становишта размотрили проблем одлучивања узима се у обзир више критеријума како би предвиђање шта боље сагледали. Најповољније решење представља компромис између жеља (критеријума) и могућности (ограничења). Поступак решавања проблема одлучивања има 5 фаза, а приказ је дат на слици 9 (Lee и Yang, 2017):

- 1) формулација проблема
- 2) израда математичког модела који репрезентује реални систем
- 3) избор и примена методе и избора алгоритма и програма за рачунар
- 4) тестирање модела за добијање решења
- 5) имплементација



Слика 9. Поступак решавања проблема одлучивања

У инжењерској пракси планирања система користи се прилаз "дискретних модела" када се, уместо свеобухватног математичког модела, пројектују варијантна решења. За овакав прилаз, поступак решавања проблема одлучивања има следеће фазе (Lee и Yang, 2017):

- 1) формулисање проблема
- 2) прикупљање података о систему
- 3) дефинисање критеријума за вредновање алтернативних решења
- 4) формулисање алтернативних решења
- 5) вредновање алтернатива
- 6) одлучивање - избор најповољније алтернативе
- 7) завршно пројектовање
- 8) имплементација

У неким случајевима се користе оба приступа. Да би се применила нека метода одлучивања, у већини случајева је потребна математичка формализација проблема, односно математички модел. Под претпоставком да за већину одлука у конкретним ситуацијама може важити напред дефинисана варијанта процеса доношења одлука при разлагању једне одлуке на њене делове, односно на ниже одлуке, и да је одлуке потребно доносити на основу аргументованих чињеница, може се усвојити, да математички модели и методе одлучивања имају значајну, а у неким случајевима и незаменљиву улогу у најбитнијим фазама овог процеса.

У раду се користи метода динамичког програмирања.

#### **2.4. Вишекритеријумско одлучивање**

Последњих деценија дошло је до снажног развоја и необичне популарности метода вишекритеријумског одлучивања. Разлози овог феномена су и теоријске и практичне природе:

- 1) у теоријском смислу вишекритеријумско одлучивање је атрактивно јер се бави недовољно структурираним проблемима
- 2) у практичном смислу нуди велику помоћ у решавању свакодневних задатака избора одлука, управљачких акција и алат су у пројектовању и методолошкој подршци у експлоатацији најразноврснијих система

Без обзира да ли је у питању стратегијска или оперативна одлука тј. управљачка акција, да ли је у питању проблем са доминантно техничким или претежно економским садржајем, или се ради о мултидисциплинарном проблему, без обзира да ли је реч о проблему који се тиче дела система или система у целини, методе вишекритеријумске анализе пружају велику помоћ у избору правих решења у задацима одлучивања управљања у пројектовању и експлоатацији (С. Оприцовић, 1998).

Менаџери у својој свакодневној пракси, хтели то или не, велики део времена утроше за доношење различитих пословних одлука. Одлучивање је укључено у све радне активности које менаџери било појединачно или тимски обављају. Делокруг пословних проблема је веома разноврсан, тако да се од менаџера очекују ваљане одлуке и када је реч о проблематичним, а поготову у рутинским ситуацијама. При доношењу пословних одлука појединац или група има пред собом комплексан процес одлучивања, који се не може свести на алгоритам математичког одлучивања и програмирања, већ је то сложена структура која често подразумева и критеријуме задате атрибутима.

За већину одлука у конкретним ситуацијама може да важи напред дефинисана варијанта процеса доношења одлука при разлагању једне одлуке на њене делове, и да је одлуке потребно доносити на основу аргументованих чињеница, може се усвојити, али да и математички модели и методе одлучивања имају значајну, а у неким случајевима и незамењиву улогу у најбитнијим фазама овог процеса. Тешко да се неки пословни проблем може описати једном критеријумском функцијом, већ је све више оних који захтевају употребу већег броја критеријума.

Методе операционих истраживања посебно долазе до изражаја при разматрању више циљева, сагласно напред наведеном закључку да вишекритеријумски приступ представља једини начин да се што реалније опише конкретни проблем (Hillier, 2005).

## **2.5. Начини и методе вишекритеријумског одлучивања**

У случају одлуке по једном критеријуму, доносилац одлуке имплицитно задржава слободу да прихвати, промени или одбаци решење добијеног на основу математичког модела одлучивања. Модели математичког одлучивања имају своју примену у пракси, код многих реалних проблема где постоји избор између више алтернатива са и без више супростављених или делимично супростављених критеријума. Реални критеријуми имају неке заједничке особине као на пример одабир већег броја атрибута, различитост атрибута, неупоредиве јединице мере, итд. Решење је избор најповољније алтернативе

из скупа датих тј. дефинисаних алтернатива. Методе које од самог почетка формирања математичког модела за одређени реални проблем воде рачуна о више циљева истовремено развијају се у области вишекритеријумског одлучивања (ВКО), (Hwang и Masud, 1979; Miettinen, 1999).

Има више разлога који утичу на то да су проблеми ВКО по природи суштински другачији у односу на проблеме једнокритеријумског одлучивања. Основни је баш у томе што се сви фактори који утичу на одлуку, односно сви исходи које би имало евентуално решење, посматрају као критеријуми чије вредности треба да буду најповољније. Дакле, треба наћи решење које је најповољније по свим разматраним критеријумима истовремено а чињеница је да су неки од њих у скоро свим проблемима одлучивања међусобно делимично или потпуно конфликтни. Поред тога, разматрани критеријуми могу по својој природи бити веома разнородни и изражени у различитим мерним јединицама, од новчаних јединица, преко јединица физичких величина, до вероватноћа или субјективних процена датих по некој скали која се формира за конкретни проблем. Све ово указује да коначно јединствено решење не може да се одреди без учешћа доносиоца одлуке. Вишекритеријумско одлучивање се посматра као вишекритеријумско и као вишециљно одлучивање. Разлика је у томе што се код вишекритеријумског одлучивања бира најповољнија алтернатива, док код вишециљног одлучивања бира се она алтернатива која најбоље испуњава дефинисане циљеве.

Задатке вишекритеријумског одлучивања у случајевима када се разматрају важне одлуке као што су одлуке у вези са капиталним улагањима, карактерише релативно велики број критеријума. Што је број критеријума већи, задаци анализе су сложенији и тежи. У одлучивању учествује већи број појединаца или група и сви они фаворизују своје системе вредности, односно критеријуме који најбоље одсликавају интересе групе којој припадају. Ради ефикаснијег анализирања одлуке и проналажења погодног решења критеријуми се групишу. Уобичајене су следеће групе критеријума (Lee и Yang, 2017):

- економски
- технички
- технолошки
- социјални
- еколошки



Према намери доносиоца одлуке, односно према проблему који треба да реши, вишекритеријумски задаци се класификују у следеће три групе (Саздановић, 1980):

- 1) задаци вишекритеријумског одлучивања којима се решавају проблеми одређивања подскупа решења која задовољавају одређене услове и/или избора једног решења из овог подскупа
- 2) задаци вишекритеријумског или вишеатрибутног рангирања којима се решавају проблеми одређивања потпуног или делимичног редоследа, ранг листе, решења која припадају коначном и преброивом скупу
- 3) задаци вишекритеријумске или вишеатрибутне селекције којима се решавају проблеми избора одређеног броја решења која припадају коначном и пребројивом скупу

Све сложенији услови пословања захтевају вишекритеријумски приступ при решавању пословних проблема, чиме се омогућава објективно поређење између већег броја алтернатива оцењених у систему већег броја различитих разнородних критеријума, датих у различитим јединицама, са различитим релативним значајем, и са различитим захтевом за екстремизацијом. Основна улога доносиоца одлуке при решавању проблема вишекритеријумског одлучивања огледа се не само у доношењу коначне одлуке, примењеном методологијом, већ и у дефинисању вишекритеријумске базе-система критеријума за евалуацију алтернатива, избору преференцијских функција, одређивању релативног значаја критеријума и одговарајућих параметара, а што све представља осетљиве фазе у решавању проблема пословног одлучивања. Дефинисање структуре преференција доносиоца одлуке представља посебан проблем у вишекритеријумском одлучивању. У том смислу указује се на неке могућности доносиоца одлуке да поступак вишекритеријумског одлучивања контролише и учествује у избору коначног решења. У пракси су ретки случајеви када постоји савршено решење задатка ВКО. Разлике у критеријумима, а поготову њихова потпуна или делимична конфликтност, представљају суштину проблема ВКО. Зато је концепт савреног решења веома ограниченог теоријског и практичног значаја. Доносилац одлуке треба на крају да усвоји неко решење. Решење које прихвати доносилац одлуке назива се најповољније или преферирано решење. Задатак је ВКО да помогне доносиоцу одлуке да изабере решење које сматра најповољнијим у датом проблему. Зато се напори ка решавању постављеног вишекритеријумског проблема често називају вишекритеријумска анализа. Чињеница да

задачи ВКО по правилу немају савршено решење упућује на преиспитивање концепта оптималности у контексту постојања више критеријума. Другим речима, пошто не постоји решење које је најповољније по свим критеријума истовремено, нема оправдања да се за неко решење каже да је најповољније. Када не постоји савршено решење задатка ВКО, у одређивању најповољнијег решења пресудну улогу има доносилац одлуке. Он је тај који одлучује шта му је важније и које решење радије прихвата "преферира".

Донсилац одлуке се у апостериорном приступу укључује у анализу и решавање свог проблема после одређивања скупа доминатних решења, дакле апостериори. Он сам треба да изабере најповољније решење. Задатак аналитичара је да из допустивог скупа издвоји подскуп доминатних решења. Овај приступ је више теоријског него практичног значаја. Два су основна разлога томе. Први је тај што је издвајање подскупа доминатних решења аналитички често нерешиви проблем. Други разлог је то што подскуп доминантних решења може да буде веома широк (велик или бесконачан број елемената скупа) тако да доносилац одлуке не може лако да одабере решење (Hwang и Masud, 1979; Miettinen, 1999).

У априорном приступу доносилац одлуке треба унапред, пре решавања задатка ВКО, да искаже свој однос према критеријумима. Ово може да се уради утврђивањем приоритета или хијерархије критеријума, додељивањем тежина појединим критеријумима, одређивањем релативних односа између свака два критеријума или на неки други начин. На основу тога аналитичар треба решавањем задатка да предложи доносиоцу одлуке једно решење које највише одговара његовим исказаним преференцијама. Недостатак овог приступа је у томе што доносилац одлуке тешко може из једног покушаја да прецизно одреди свој став према критеријумима, нарочито на начин који захтевају одређени математички модел и метода. Он се по правилу противи да унапред експлицитно каже какав однос између критеријума постоји ако ће то касније да му представља обавезу. Једино што је извесно јесте да он решење тражи у скупу доминантних решења. Анализом решења за разне скупове тежинских коефицијената, на пример, доносилац одлуке може да препозна међусобни однос критеријума и решења и да добије бољи увид у суштину проблема. Априорни приступ је теоријски највише разматран и практично најчешће примењиван. Развијено је пуно метода априорне ВКО. Неке од њих су прилично једноставне и то им даје велику предност за практичне примене у посебним ситуацијама (Suman и Kumar, 2006).

Интерактивни приступ обухвата методе које комбинују априорни и апостериорни приступ са активним учешћем доносиоца одлуке. Приступ се заснива на непрекидном

коришћењу рачунара у фази одлучивања и кориснички реализованом окружењу. Савремени софтверски алати треба да пруже доносиоцу одлуке снажну подршку у експериментисању са различитим скуповима својих преференци. Једноставно и брзо обављање разноврсних анализа треба да олакшају доносиоцу одлуке коначни избор. Очигледно је да интерактивне методе подразумевају интензивно коришћење експертних система и система заснованих на знању. Ови системи би требало да садрже систематизована знања о ранијим решавањем сличних задатака и да их на интелигентан начин користе да би помогла доносиоцу одлуке. У том смислу овакви приступи претпостављају одређену сарадњу доносиоца одлуке и рачунара. Зато се називају и кооперативним. Интерактивни и кооперативни приступи су модерни и представљају највећи изазов. Проблеми које треба притом решавати интересантни су и са становишта вештачке интелигенције и софтверске имплементације. Кооперацијом доносиоца одлуке и рачунара требало би да се открије структура његових односа према критеријумима, тзв. преферентна структура или структура преференција доносиоца одлуке. У томе се појављују проблеми за чија су решавања потребна знања и истраживања у областима психолошких и социолошких наука (Miettinen и др., 2008; Luque и др., 2008; Miettinen и Mäkelä, 2006).

Математичка истраживања задатака ВКО остају претежно у оквирима априорних и апостериорних приступа. У процесу одлучивања појављује се проблем са две или више функције циља и они се могу решавати методама вишекритеријумског одлучивања. Да би се извршило свестрано и објективно поређење између већег броја алтернатива оцењених у систему већег броја различитих критеријума, датих у различитим јединицама, често са различитим релативним значењем и са различитим захтевима за минимизацијом или максимизацијом потребно је да се користе методе за вишекритеријумско одлучивање, што значи да се проблем вишекритеријумског одлучивања своди на задатак утврђивања коначног ранга алтернатива.

При избору критеријума који улазе у вишекритеријумску базу за одлучивање треба водити рачуна о томе да се са што мањим бројем различитих критеријума добије свеобухватна и објективна слика у складу са захтевима које носилац одлучивања поставља. Употреба више критеријума који исто значе, може се лако претворити у сопствену противуречност и деформисати основну слику форсирајући резултате у одређеном смеру. Опште карактеристике сваког вишекритеријумског проблема за разлику од једнокритеријумских проблема, огледају се у присутности следећих елемената:

- више критеријума (функција циља, функција критеријума) за одлучивање
- више алтернатива (решења) за избор
- процес избора једног коначног решења

Реални проблеми најчешће немају критеријуме истог степена значајности и потребно је да доносилац одлуке дефинише факторе значајности појединих критеријума користећи одговарајуће тежинске коефицијенте (тежине) или тзв. пондере за критеријуме (ако њихов збир износи 1 (један), то су нормализоване тежине). Нису сви критеријуми подједнако важни, па се њихов "значај" представља тежином критеријума. У овом делу вишекритеријумске анализе (одређивање тежина критеријума) долази до изражаја субјективизам – појединачни или групни. Суштина је да се субјективизам у анализу уводи на врло уређен начин. Другим речима субјективизам у вишекритеријумској анализи је неминовност, али се она може контролисати и ригорозно третирати. Дефинисање тежина критеријума није увек једноставно и у суштини сваки доносилац одлуке субјективно дефинише тежинске коефицијенте. Тежински коефицијенти у неким методама имају одлучујући утицај на решење, може да се догоди да уведене вредности за тежине не обезбеђују "добро решење" и потребно је анализирати како се решење понаша у зависности од могућих реалних варијанти за тежине критеријума. Проблем је једноставнији ако постоје апсолутни приоритети међу критеријумима. Тежине критеријума се могу дефинисати коришћењем Делфи методе, нарочито у ситуацијама које нису општепознате већ су познате само експертима. У литератури се може наћи велики број метода вишекритеријумске анализе. Методе вишекритеријумске анализе у концепцијском смислу нису нарочито сложене, а што је својеврстан апсурд у формалном смислу су једноставније за разумевање од класичног једнокритеријумског одлучивања. Карактеристично за ове методе је да су настајале у периоду брзог развоја и ширења информационих технологија и да су засниване на примени рачунара. Методе за вишекритеријумско одлучивање се могу класификовати у пет група:

- 1) метода за одређивање неинфериорних решења - одређује се скуп неинфериорних решења, а доставља се доносиоцу одлуке да на основу своје преференције усвоји коначно решење
- 2) методе са унапред израженом преференцијом - формира се синтеза (резултантна) критеријумска функција па се задатак даље решава као да је једнокритеријумски

- 3) интерактивне методе - доносилац одлуке посебно изражава своју преференцију интерактивним коришћењем одговарајуће методе
- 4) стохастичке методе - у модел одлучивања се укључују и показатељи неизвесности
- 5) методе за "истицање" подскупа неинфериорних решења

Сужавање скупа неинфериорних решења се постиже увођењем додатних елемената одлучивања.

У прву групу метода спадају следеће методе:

- метода тежинских коефицијената
- метода ограничења у простору критеријумских функција
- вишекритеријумска симплекс метода

У другу групу метода спадају следеће методе:

- метода „PROMETHEE“
- циљно програмирање
- метода „ELECTRE“
- метода сурогат вредности размене

У трећу групу метода спадају следеће методе:

- метода „STEM“
- метода „SEMOPS“

У четврту групу метода спада следећа метода:

- метода „PROTRADE“

## **2.6. Примена вишекритеријумског одлучивања у контејнерском транспорту**

Проучавајући податке из литературе, закључено је да је одређена група истраживача испитивала контејнерски транспорт на различитим релацијама, који се заснива на минимизацији једног циља. Укључивањем више циљева приликом доношења комплексних одлука добијамо тачније информације о посматраним објектима у исто време.

(Francesetti, 2005), је у свом раду представила анализу трошкова транспорта контејнера, узимајући као полазну тачку четири кинеске луке (Далиан, Шангај, Хонг Конг, Јантиан), док су као крајња места допреме контејнера одређене централно-европске дестинације. Приликом својих испитивања демонстрирала је да трошкови приликом транспорта контејнера комбинацијом мора и копна, посматрајући камионски и железнички транспорт на копну, имају већу наклоност према италијанским лукама

(Ђенова, Трст, Напуљ, Ђоја Тауро) у односу на северно-европске луке (Ротердам, Антверпен, Хамбург), иако тај распон трговине не обухвата све земље на северу Европске Уније и Русије, али, са друге стране, покрива велики део градова на самом југу ових држава као сто су Милан, Минхен, Беч, Будимпешта, Берн, Лион и Кијев. Приликом анализе трошкова транспорта контејнера као укупан посматрани трошак узет је збир трошкова бродског превоза, лучких операција и трошак транспорта контејнера од лука истовара до крајњих дестинација камионом и возом.

Фокус истраживања (Infante и др., 2009), био је транспортни систем, у коме контејнери представљају покретне јединице за утовар. Истраживање се конкретно бави предностима комбиновања поморског и копненог транспорта, поморског за пренос терета преко позамашно великих раздаљина, копненог за прикупљање и дистрибуцију терета преко мањих или средњих раздаљина. Са циљем како би се што више смањили укупни трошкови транспорта контејнера, истраживачи су формулисали брод-камион транспортни проблем као проблем путујућег трговца (ППТ). За решавање наведеног проблема коришћен је и експериментално тестиран хеуристички алгоритам. Добијени резултати указују да је алгоритам веома ефикасан на скупу референтних случајева, брзим постизањем оптималних или скоро оптималних решења.

Чинећи велике напоре да постане логистички центар североисточне Азије, корејска влада покренула је пројекат у циљу решавања лоше избалансираних робних токова. Велика количина робе усмерена је на луке Бусан и Гвангјанг који се налазе далеко од покрајине Кјонг-до и Сеула где живи 40 % јужнокорејске популације. Посматрајући наведене робне токове у Кореји, као један од проблема издвојио се мултимодални транспортни проблем, који су анализирали (Kim и др., 2008). Он је подразумевао да се мора утврдити транспортни ток, другим речима, број контејнера, као и врста транспорта при свакој трговинској рути, како би се, у што већој мери, смањило укупан трошак транспорта контејнера у транспортном ланцу море-копно. Овде се, међутим, јављају два ограничења: највећа дозвољени број контејнера у свакој луци, као и највећи дозвољени број возила (камиона и возова) доступан за сваку врсту транспорта. Како би се проблем решио на најповољнији начин, истраживачи су употребили мешовито целобројно програмирање, које се сматра једном од техника операционог истраживања.

Слична испитивања спровели су (Han и др., 2011), концентришући сена одређивање квантитета и вида превоза приликом транспорта контејнера између Мјанмара и земаља са којима Мијанмар тргује. Притом, посебна пажња посвећена је

земљама североисточне Азије, како би се проверио степен коришћења морског и копненог превоза. Циљ њиховог истраживања је да се у што већој мери смање укупни трошкови одређене врсте транспорта, и то између полазне тачке и жељене дестинације, а који зависе од највеће дозвољене количине терета (броја контејнера) са којом се манипулише у свакој луци посебно. Како би се што више побољшао поморски превоз и копнени транспорт у Мјанмару, њихова истраживања користе моделе линеарног програмирања.

Студија којом се бавио (Tsung-Sheng Chang, 2007), се фокусира на једно од оперативних питања у транспортним системима: како одабрати најповољније транспортне руте у међународним транспортним мрежама. Међународно транспортно рутирање одликују три важне карактеристике: (1) више циљева; (2) различити видови превоза и захтевана времена испоруке; и (3) транспортна економија обима. У раду, проблем међународног транспортног рутирања је формулисан као вишеокритеријумски мултимодални проблем више различитих врста протока робе (енгл. multiobjective multimodal multicommodity flow problem - MMMFP) са ограничењима у трошковима и времену транспорта. Циљ рада био је да сразвије математички модел који обухвата сва три битне карактеристике, и да се предложи алгоритам који може ефикасно да одговори моделу. Предложен је хеуристички алгоритам, а главни проблем је представљен преко скупа мањих и лакших потпроблема.

Приликом транспорта контејнера није увек случај да се најкраћа рута може сматрати најповољнијом рутом у погледу минимизације времена превоза. Овај проблем су још раније обрађивали (Deo и Pang, 1984), (Gallo и Pallottino, 1986), и (Festa, 2006) користећи различите алгоритме за његово решавање. (Arnone и др., 2014.), су у свом раду анализирали минимизацију времена транспорта контејнера узимајући кинеске луке као почетне тачке, затим 50 најфреквентнијих европских лука као луке претовара док су као крајње дестинације узете 3 зоне: Италија, централна и западна Европа, остале земље Европе. Они су проширили првобитни приступ временским ограничавањем који су раније разматрали (Bell и др., 2011.), који се заснива на фреквенцији и позиционирању празних контејнера. Као укупно време рачунато је време превоза контејнера на мору, време потребно за утовар/истовар контејнера са брода, време потребно за отпрему контејнера (царинске формалности) као и време потребно за превоз контејнера од луке до финалне дестинације. За решавање поменутог проблема коришћен је модел линеарног програмирања, а као резултати представљени су 3 различита сценарија. Рачунски

результати показали су ефикасност и утицај предложеног приступа, чак и када су у питању велике базе података.

(Fedele Iannone, 2012.), у свом раду минимизира укупне трошкове транспорта приликом увоза / извоза контејнера на релацији лука – крајња дестинација. Посматране су луке у Кампањи, јужној области Италије. Компаративном анализом транспорта контејнера камионима или железничким путем, применом линеарног програмирања долази до најповољнијих решења.

(Schneider, 2011.), се фокусирао на један циљ, емисију угљен-диоксида приликом транспорта терета од Банкока до Франкфурта и обрнуто, користећи различите видове транспорта, као и на специфичне мерљиве аспекте одрживости који помажу професионалцима да донесу адекватну одлуку. У стварним животним ситуацијама, доносиоци одлука често се суочавају са различитим проблемима и са више различитих функција циља.

(Mostert и Limbourg, 2014.), су се базирали на конципирању транспортне мреже посматрајући укупну емисију угљен-диоксида. Као метод за решавање проблема представили су двокритеријумски локацијско-транспортни модел, са главним задатком минимизације транспортних трошкова и емисије угљен-диоксида у транспортној мрежи. Посматрани модел су решавали моделом мешовитог целобројног програмирања.

(Xue, Y. D. и Irohara, T., 2010.), представили су студију која минимизира трошкове превоза и емисије угљен-диоксида током транспорта од Шангаја до Токија, Осаке и Китајкушуа. Овај модел посматра проблем транспортног планирања превоза у коме се роба транспортује прекоокеанским превозом од фабрике до три домаћа тржишна центра. Проблем је решен коришћењем софтверског пакета CPLEX.

Слична истраживања у смислу тестирања двокритеријумског одлучивања, минимизације трошкова и транзитног времена спровели су (Lam, J. S. L. и Gu, Y, 2013.), посматрајући увозне и извозне контејнерске токове у залеђу Кине. Резултати и анализе дају менаџерима јасне увиде у компромисима између трошкова транспорта и времена транзита, представљајући и ефекат различитих захтева у ограничењу у емисијама угљен-диоксида у планирању транспорта. Проблем је решен коришћењем софтверског пакета CPLEX.

(Kim и др., 2009.), су истраживали однос између транспортних трошкова и емисије угљен-диоксида у транспортним мрежама базираним на камионском превозу. Развијени алгоритми оријентисани су на поједностављену транспортну мрежу која повезује две велике европске луке: Ротердам (Холандија) и Гдањск (Пољска).



Иницијално решење, базирано на основу минимизирања трошкова превоза, показује да је модалитет удела превоза у равнотежи са емисијом угљен-диоксида који је заснована на „hub-and-spoke“ мрежи.

(Novikova и др., 2013.), су представили вишекритеријумско одлучивање контејнерских токова кроз Достик и Аласханкоу (чворна тачка између Кине и Казахстана). Рад допринеси истраживањима у примени вишекритеријумских еволутивних алгоритама у области транспорта и логистике. Он приказује различите приступе одлучивања примењљиве на железничким граничним станицама фокусирајући се на аспекте као што су распоред транспорта, платформе, возне циркулације, железничко маневрисање линија планирања и планирања посаде. Подаци протока и трошкова за Достик и Аласханкоу су анализирани коришћењем ИМЕА оптимизације помоћу Матлаб софтвера.

(Yang и др., 2011.), су развили транспортни мрежни модел одлучивања који испитује конкурентност 36 алтернативних рута за терет од Кине преко Индијског океана. Предложени модел, који се гради на принципима циљног програмирања, је у стању да обради вишеструке и конфликтне објективне функције као што је минимизирање трошкова транспорта, транзитно време и варијабилност транзитног времена осигуравајући континуитет протока и транзит преко чворова железничког, друмског, океанског, авионског и транспорта на унутрашњим пловним путевима.

(Winebrake и др., 2008.), представили су модел енергетске ефикасности и заштите животне средине и који истражује компромисе у вези контејнерског транспорта. Просторни модел користи транспортну мрежу изграђену од стране аутора који користе различите типове превоза (железнички, друмски, водени) преко интермодалних терминала. Руте дуж мреже карактеришу не само време и раздаљину, већ и трошкове, енергију и емисију гасова (укључујући емисију угљен диоксида, прашкастих материја, сумпорних оксида, лако испарљивих органских једињења, и оксида азота).

У табели 6 дат је хронолошки приказ еволуције одлучивања код контејнерских робних токова. У табелама 7 и 8 приказана је анализа посматрајући структуру модела. Табела 9 специфицира редом радове према различитим алгоритмима.

**Табела 6.** Еволуција одлучивања код контејнерских робних токова

Рад	Поморска мрежа у интермодалној структури (ПМ)	Копнена мрежа у интермодалној структури (КМ)	Емисија гасова (ЕГ)	Географско подручје студије	Модел	Класификација модела (стохастички/динамички – А) или детерминистички/статички – Б)	Функција циља	Алгоритам	Класификација алгоритама
<b>1, White, 1972</b>	ПМ	КМ	/	/	Линеарно програмирање	А	Мин. цена	Индуктивни"Out-of-Kilter" алгоритам	Тачан алгоритам
<b>2, Min, 1991</b>	ПМ	КМ	/	/	Шанса-ограничење циљно програмирање	А	Мин. цена + мах сервис	/	/
<b>3, Crainic и др., 1993a</b>	/	КМ	/	/	Линеарно програмирање, детерминистички једно и више објектни модел	А	Мин. цена	/	/
<b>4, Crainic и др., 1993b</b>	/	КМ	/	/	Мешано целобројно програмирање	Б	Мин. цена	Табу истраживање	Метахеруистика
<b>5, Lai и др., 1995</b>	ПМ	КМ	/	Европа – Далеки исток	Симулациони модел	А	Мин. цена	Хеуристичко истраживање	Класична херуистика
<b>6, Shen и Khoong, 1995</b>	/	КМ	/	/	Симулациони модел	А	Мин. цена	Релаксацијаска ограничења	Класична херуистика

7, Miller и др., 1996	/	КМ	/	Северна Америка	Мешано целобројно програмирање	Б	Мин. цена	/	/
8, Newman и Yano, 2000)	/	КМ	/	/	Целобројно програмирање	Б	Мин. цена	Декомпозициона процедура	Класична херуистика
9, Cullinane и др., 2002	/	КМ	/	Кина	Линеарно програмирање	Б	Мин. цена + мин. време	Парето оптимум	Тачан алгоритам
10, Choong и др., 2002	/	КМ	ЕГ	Мисисипи	Целобројно програмирање	Б	Мин. цена	/	/
11, Jansen, Swinkels и др., 2004	/	КМ	/	Холандија	Симулациони модел	А	Мин. цена	/	/
12, Karimi и др., 2005	ПМ	КМ	ЕГ	/	Линеарно програмирање	Б	Мин. цена	Детерминистичка методологија	Тачан алгоритам
13, Parola и Sciomachen. 2005	/	КМ	/	Италија	Симулациони модел	А	Сценарио капацитет компарациона анализа	/	/
14, Erega и др., 2005	ПМ	КМ	ЕГ	/	Целобројно програмирање	Б	Мин. цена	/	/
15, Olivo и др., 2005	/	КМ	/	Медитеран	Целобројно програмирање	А	Мин. цена	Линеаризациона техника	/
16, Cheang и Lim, 2005	/	КМ	/	Сингапур	Симулациони модел	А	Мин. цена	/	/
17, Jula и др., 2005	/	КМ	/	/	Линеарно програмирање	Б	Мин. цена	1) двофазно динамичко програмирање (ДП)	Тачан алгоритам + метахеруистика + класична херуистика

								2) Хибридно ДП са гететским алгоритмом (ГА) 3) Херуистика	
18, Coslovich и др., 2006	/	КМ	/	Италија	Целобројно програмирање	А	Мин. цена	Лагранжов релаксациони + декомпозициона структура	Класична херуистика
19, Jula и др., 2006	/	КМ	/	Италија	Целобројно програмирање	А	Мин. цена	Дво-динамична оптимизациона стратегија	Тачан алгоритам
20, Imai и др., 2007	/	КМ	ЕГ	Америка	Целобројно програмирање	А	Мин. цена	Лагранжов релаксациони	Класична херуистика
21, Wang и Wang, 2007	ПМ	КМ	/	/	Целобројно програмирање	Б	Мин. цена	/	/
22, Deidda, Francesco и др., 2008	/	КМ	ЕГ	/	Целобројно програмирање	Б	Мин. цена	/	/
23, Rahimi и др., 2008	/	КМ	ЕГ	Америка	Камионски ВМТ модел	Б	Мин. цена камиоско растојање +	Чиста калкулација	Тачан алгоритам
24, Feng и Chang, 2008	ПМ	КМ	/	Интер-Азија	Прва фаза (сигурносни фонд) + друга фаза (линеарно програмирање)	Б	Мин. цена	/	/
25, Chang и др., 2008	/	КМ	/	Америка	Мешовито целобројно програмирање +	Б	Мин. цена	Разлагање проблема у независне и	Класична херуистика + тачан алгоритам

					контејнерска супституција			зависне хеуристике	
<b>26, Kim и др., 2008</b>	ПМ	КМ	/	Кореја	Целобројно програмирање	Б	Мин. цена	/	/
<b>27, Leachman, 2008</b>	ПМ	КМ	/	Од Азије до Америке	Специјални модел који се односи на сигурност акција	Б	Мин. цена	Чиста калкулација	/
<b>28, Caris и Janssens, 2009</b>	/	КМ	/	/	Мешовито целобројно програмирање	Б	Мин. цена	Двофазно локално претраживање у 3 суседства	Метахеуристика
<b>29, Sun и др., 2009</b>	/	КМ	/	Кина	Мешовито целобројно програмирање + Цена са Коичина- Попуст инвенторним моделом	Б	Мин. цена	Динамичко програмирање	Тачан алгоритам
<b>30, Bandeira и др., 2009</b>	/	КМ	/	/	Мешовито целобројно програмирање	А	Мин. цена	Разлагање пробелма у статички и динамички модел	Симулација базирана на хеуристици
<b>31, Imai и др., 2009</b>	ПМ	КМ	/	Азија-Европа и Азија- Северна Америка	Мешовито целобројно програмирање	Б	Мин. цена	Компарација Multi-Port и Hub and Spoke са ГА	Метахеуристика
<b>32, Liao и др., 2009</b>	ПМ	КМ	EG	Тајван	Линеарно програмирање	Б	Мин. CO <sub>2</sub>	Једноставно калкулациона компарација	Тачан алгоритам
<b>33, Francesco и др., 2009</b>	ПМ	КМ	/	Регион Медитерана	Целобројно програмирање	Б+А	Мин. цена	Полсиса за више сценарија + стохастичка симулација	Симулација

<b>34, Infante и др., 2009</b>	ПМ	КМ	/	/	Линеарно програмирање	Б	Мин. цена	Трофазни хеуристички алгоритам	Класична Хеуристика
<b>35, Chen и Jang, 2010</b>	/	КМ	/	Кина	Нелинеарно програмирање	Б	Мин. цена	ГА	Метахеуристика
<b>36, Fan, Wilson и др., 2010</b>	ПМ	КМ	/	Европа	Линеарно програмирање	Б	Мин. цена	/	/
<b>37, Iannone и Thore, 2010</b>	/	КМ	/	Јужна Италија	Детерминистичко линеарно програмирање	Б	Мин. цена	/	/
<b>38, Thill и Lim, 2010</b>	/	КМ	/	Америка	ГИС-позиционо мапирање	Б	Мин. цена	Анализа приступачности	/
<b>39, Fan и др., 2010</b>	ПМ	КМ	/	Америка	Линеарно програмирање	Б	Мин. цена	/	/
<b>40, Zhang и др., 2010</b>	/	КМ	/	/	Линеарно програмирање	Б	Мин. време		
<b>41, Shintani и др., 2010</b>	/	КМ	ЕГ	Европа	Целобројно програмирање	Б	Мин. цена	/	/
<b>42, Jula и Leachman, 2011a</b>	ПМ	КМ	/	Од Азије до Америке	Мешовито целобројно нелинерано програмирање + Мешовити целобројни нелинерани модел + Queuing модел	Б	Мин. цена	Хеуристика	Класична хеуристика
<b>43, Jula и Leachman, 2011b</b>	ПМ	КМ	/	Од Азије до Америке	Мешовито целобројно нелинерано програмирање	Б	Мин. цена	Хеуристика	Класична хеуристика

<b>44, Meng и Wang, 2011</b>	ПМ	КМ	/	Кина	Мешовито целобројно нелинерано програмирање	Б	Мин. цена	Хибридни генетски алгоритам	Метахеуристика
<b>45, Wang и Yun, 2011</b>	/	КМ	/	/	Мешовито целобројно програмирање	Б	Мин. цена	Хибридно табу истраживање	Метахеуристика
<b>46, Yang и др., 2011</b>	ПМ	КМ	/	Од Кине до Индије	Мешовито целобројно програмирање (циљно програмирање)	Б	Мин. цена + Мин. време	/	/
<b>47, Zhang, Jun, и др., 2011</b>	/	КМ	/	/	Мешовито целобројно програмирање	Б	Мин. време	Табу истраживање	Метахеуристика
<b>48, Davidson и Leachman, 2012</b>	ПМ	КМ	/	Од Азије до Америке	Мешовито целобројно нелинерано програмирање	Б	Мин. цена	Хеуристика	Класична хеуристика
<b>49, Iaponne, 2012</b>	/	КМ	/	Јужна Италија	Детерминистичко линеарно програмирање	Б	Мин. цена	/	/
<b>50, Dang, Yun и др., 2012</b>	ПМ	КМ	/	/	Симулациони модел	Б	Мин. цена	Симулациони модел базиран на ГА	Метахеуристика

**Табела 7.** Класификација I према математичком моделу

<b>Модел</b>	<b>Радови</b>	<b>Број (%)</b>
<b>(1) Линеарни модел</b>		35 (70 %)
<b>Линеарно програмирање</b>	1, (White, 1972), 3,(Crainic et al., 1993a) , 9,(Cullinane et al., 2002), 12,(Karimi et al., 2005) , 17,(Jula et al., 2005), 20,(Imai et al., 2007), 24,(Feng and Chang, 2008), 32,(Liao et al., 2009), 34,(Infante et al., 2009), 36,(Fan, Wilson et al. 2010), 37,(Iannone and Thore, 2010), 39,(Fan et al., 2010), 40,(Zhang et al., 2010), 49,(Iannone 2012).	14/35
<b>Целобројно програмирање</b>	8,(Newman and Yano, 2000) , 10,(Choong et al., 2002), 14,(Erera et al., 2005), 15,(Olivo et al., 2005), 18,(Coslovich et al., 2006), 19,(Jula et al., 2006), 21,(Wang and Wang 2007), 22,(Deidda, Francesco et al. 2008), 26,(Kim et al., 2008), 33,(Francesco et al., 2009), 41,(Shintani et al., 2010).	11/35
<b>Мешовито целобројно програмирање</b>	4,(Crainic et al., 1993b), 7,(Miller et al., 1996), 25,(Chang et al., 2008), 28,(Caris and Janssens, 2009), 29,(Sun et al., 2009), 30,(Bandeira et al., 2009), 31,(Imai et al., 2009), 45,(Wang and Yun 2011), 46,(Yang et al., 2011), 47,(Zhang, Yun et al. 2011).	10/35
<b>(2) Нелинеарни модел</b>	35,(Chen and Yang 2010), 42,(Jula and Leachman, 2011a), 43.,(Jula and Leachman, 2011b), 44,(Meng and Wang 2011), 48,(Davidson and Leachman 2012).	5 (10 %)
<b>(3) Симулациони модел</b>	5, (Lai et al., 1995), 6,(Shen and Khoong, 1995), 11,(Jansen, Swinkels et al. 2004), 13,(Parola and Sciomachen, 2005), 16,(Cheang and Lim, 2005) , 50,(Dang, Yun et al. 2012).	6 (12 %)
<b>(4) Други модели</b>	2,(Min, 1991), 23,(Rahimi et al., 2008), 27,(Leachman 2008), 38,(Thill and Lim, 2010).	4 (8 %)



**Табела 8.** Класификација II према математичком моделу

Модел	Радови	Број (%)
Динамичко/стохастички (А)	1,(White, 1972), 2,(Min, 1991), 3,(Crainic et al., 1993a), 5,(Lai et al., 1995), 6,(Shen and Khoong, 1995), 11,(Jansen, Swinkels et al. 2004), 13,(Parola and Sciomachen, 2005), 15,(Olivo et al., 2005), 16,(Cheang and Lim, 2005), 18,(Coslovich et al., 2006), 19,(Jula et al., 2006), 30,(Bandeira et al., 2009), 33,(Francesco et al., 2009).	13 (26 %)
Детерминистичко/статички (Б)	4,(Crainic et al., 1993b), 7,(Miller et al., 1996), 8,(Newman and Yano, 2000), 9,(Cullinane et al., 2002), 10,(Choong et al., 2002), 12,(Karimi et al., 2005), 14,(Erera et al., 2005), 17,(Jula et al., 2005), 20,(Imai et al., 2007), 21,(Wang and Wang 2007), 22,(Deidda, Francesco et al. 2008), 23,(Rahimi et al., 2008), 24,(Feng and Chang, 2008), 25,(Chang et al., 2008), 26,(Kim et al., 2008), 27,(Leachman 2008), 28,(Caris and Janssens, 2009), 29,(Sun et al., 2009), 31,(Imai et al., 2009), 32,(Liao et al., 2009), 33,(Francesco et al., 2009), 34,(Infante et al., 2009), 35,(Chen and Yang 2010), 36,(Fan, Wilson et al. 2010), 37,(Iannone and Thore, 2010), 38,(Thill and Lim, 2010), 39,(Fan et al., 2010), 40,(Zhang et al., 2010), 41,(Shintani et al., 2010), 42,(Jula and Leachman, 2011a), 43,(Jula and Leachman, 2011b), 44,(Meng and Wang 2011), 45,(Wang and Yun 2011), 46,(Yang et al., 2011), 47,(Zhang, Yun et al. 2011), 48,(Davidson and Leachman 2012), 49,(Iannone 2012), 50,(Dang, Yun et al. 2012)	37 (74 %)

**Табела 9.** Класификација према алгоритмима

<b>Алгоритам</b>	<b>Радови</b>	<b>Број (%)</b>
<b>Тачан алгоритам</b>	1,(White, 1972), 9,(Cullinane et al., 2002), 12,(Karimi et al., 2005), 19,(Jula et al., 2006), 23, (Rahimi et al., 2008), 29,(Sun et al., 2009), 32,(Liao et al., 2009)	7 (14 %)
<b>Класична хеуристика</b>	5,(Lai et al., 1995), 6,(Shen and Khoong, 1995), 8,(Newman and Yano, 2000), 18,(Coslovich et al., 2006), 20,(Imai et al., 2007), 34,(Infante et al., 2009), 42,(Jula and Leachman, 2011a), 43,(Jula and Leachman, 2011b), 48,(Davidson and Leachman 2012).	9 (18%)
<b>Метахеуристика</b>	4,(Crainic et al., 1993b), 28,(Caris and Janssens, 2009) , 31,(Imai et al., 2009), 35,(Chen and Yang 2010), 44,(Meng and Wang 2011), 45,(Wang and Yun 2011), 47,(Zhang, Yun et al. 2011), 50,(Dang, Yun et al. 2012).	8 (16%)
<b>Симулација</b>	30,(Bandeira et al., 2009), 33,(Francesco et al., 2009)	2 (4%)
<b>Недефинисани алгоритам – коришћење комерцијалног софтвера</b>	2,(Min, 1991), 3,(Crainic et al., 1993a), 7,(Miller et al., 1996), 10,(Choong et al., 2002), 11,(Jansen, Swinkels et al. 2004), 13,(Parola and Sciomachen, 2005), 14,(Erera et al., 2005), 15,(Olivo et al., 2005), 16,(Cheang and Lim, 2005), 21,(Wang and Wang 2007), 22,(Deidda, Francesco et al. 2008), 24,(Feng and Chang, 2008), 26,(Kim et al., 2008), 27,(Leachman 2008), 36,(Fan, Wilson et al. 2010), 37,(Iannone and Thore, 2010), 38,(Thill and Lim, 2010), 39,(Fan et al., 2010), 41,(Shintani et al., 2010), 46,(Yang et al., 2011), 49,(Iannone 2012)	21 (42%)
<b>Више од 2 алгоритма истовремено</b>	17,(Jula et al., 2005), 25,(Chang et al., 2008), 40,(Zhang et al., 2010)	3 (6%)

Докторска дисертација се може класификовати на следећи начин:

модел: целобројно програмирање (променљиве одлучивања су цели бројеви, 0 или 1)

класификација модела: детерминистички/статички Б (познати су унапред улазни подаци и на основу њих се једнозначно добија решење)

алгоритам: чиста калкулација / динамичко програмирање

класификација алгоритма: тачан алгоритам

### 3. ОПИС ПРОБЛЕМА

У дисертацији је разматран транспортни систем, са међуконтиненталним транспортом, више од два вида транспорта и барем две луке претовара, већим бројем расположивих оператера и типова контејнера. Транспортни систем чине океански део на коме су контејнери транспортовани посредством највећих светских бродара и копнени део на коме су контејнери транспортовани користећи различите видове превоза.

Основни циљ ове дисертације је тражење најповољнијег решења из низа допустивих решења у смислу више усвојених критеријума: минимално транзитно време, најнижи транспортни трошкови и минимална емисија гасова приликом транспорта контејнера. Развијени математички модел се верификује на примеру транспорта контејнера од Шангаја до Београда. У студији је развијен вишекритеријумски модел одлучивања, приказујући најповољнији пут за увоз контејнера. Развијени математички модел нам даје могућност посматрања читавог опсега решења, као и могућност њиховог рангирања, чијим се одабиром врши једноставна селекција групе најповољнијих решења, посматрајући истовремено минимизацију транзитног времена, транспортних трошкова и емисије гасова. Модел одговара различитим захтевима купаца обзиром да неки захтевају ниже трошкове транспорта, док су други оријентисани на минимизацију и брже време испоруке, узимајући у обзир све важније питање одрживости животне средине, минимизацијом емисије гасова.

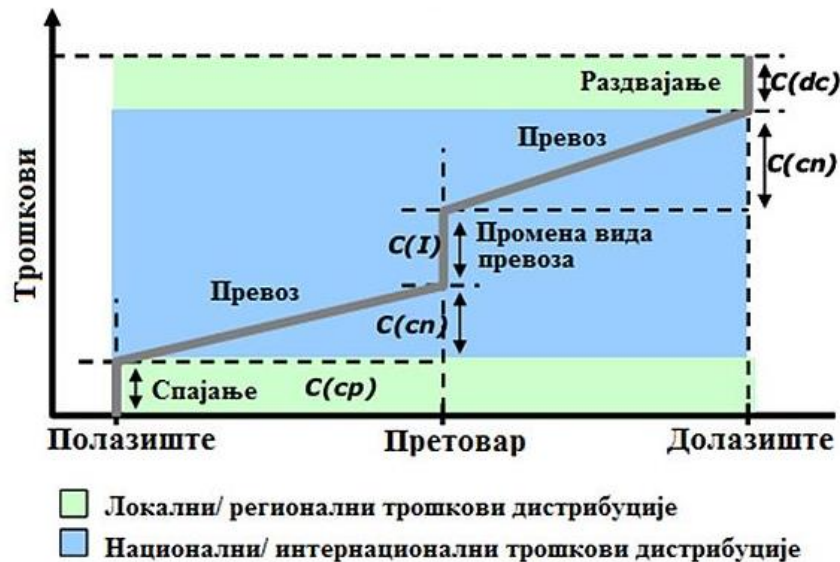
У складу са наведеним циљевима истраживања дефинисани су следећи задаци:

- 1) одредити полазну тачку (утоварно место)
- 2) одабрати бродаре и дефинисати адекватне контејнерске руте бродара на поморским путевима
- 3) одредити луке истовара
- 4) дефинисати видове транспорта од утоварне луке до места допреме контејнера
- 5) одредити финално место допреме контејнера

### 3.1. Избор критеријума за одлучивање

Да би се терет транспортовао из једног места у друго морају се испоштовати различити фактори: врста робе, расположива инфраструктура, место поласка и доласка, технологија, и посебно растојања која треба да се пређу, који самим тим и дефинишу трошкове транспорта. Од укупне цене производа чак 20% отпада на трошкове транспорта. Повезаност три фактора - транспортни трошкови, растојање и вид транспорта одређује, мада губо, и растојања за која су погодни различити видови превоза у теретном транспорту. За друмски транспорт се опредељујемо кад су релације краће – од 300 km до 500 km ( капацитет 1-4 ТЕУ) , железнички је погодан за релације до 1.500 km (капацитет железничке композиције до 60 ТЕУ), а поморски транспорт је значајан на дугим релацијама (преко 1.500 km, бродовима са преко 6000 ТЕУ). Међутим, обзиром да је друмски саобраћај веома добро развијен, а не зависи од географских услова, он је пронашао све већу примену и на дужим релацијама. Врста транспорта је различита у различитим земљама. Тип транспорта одређује политика дотичне земље и примена еколошких мера. Европска унија покушава да унапреди транспортне алтернативе, улаже и у железницу и њену инфраструктуру, истовремено повећавају и накнаду за коришћења друмских саобраћајница. Коришћење различитих видова транспорта донело је знатне промене дужина превоза терета.

Трошкови транспортног система укључују неколико типова транспортних трошкова који се јављају приликом слања терета од полазишта до долазишта, а зависе од вида превоза који се користи, претовара са једног вида превоза на други и активности у складиштењу (Слика 10).



Слика 10. Функција трошкова транспортног система

Трошкови транспортног система између полазишта и долазишта се састоје од:

- трошкова спајања терета-  $C(sp)$
- трошкова превоза од и до места промене вида превоза-  $C(cn)$
- трошкова претовара са једног на други вид превоза- $C(I)$
- трошкова раздвајања терета у долазишту-  $C(dc)$

Ради уштеда у поморском и копненом транспорту, али и у претовару, употреба контејнера је пронашла све већу примену. Величина капацитета бродова за превоз контејнера је сразмерна трошковима по ТЕУ (већи брод – нижи трошкови). Иако постоји тренд повећања величине бродова да би се смањили трошкови по ТЕУ, ово повећање може довести до повећања трошкова у другим компонентама контејнерског превоза (нпр. већи бродови захтевају и веће луке, већа количина контејнера захтева и адекватну претоварну опрему итд.).

Са напретком технике у области речно/поморског превоза и повезаности друмског и железничког саобраћаја остварене су значајне уштеде трошкова претовара. Највеће уштеде се огледају кроз примену контејнера. Поред транспортних трошкова у поморском и копненом транспорту значајан удео имају и трошкови претовара терета. Дистрибутивни системи су пребукирани повећаном количином контејнера и приморани су да се технички усавршавају. Технолошка достигнућа и побољшавање инфраструктуре значајно одређују реализацију транспортног ланца између полазишта и одредишта.

Од давнина је познато да је набавка сировина и дистрибуција готових производа главни део свих економских трансакција и представља један од најважнијих планова сваке компаније. Због тога се и политика компаније усклађује са ова два фактора и у циљу што бржег остваривања такве политике време је један од опредељујућих фактора, макар и по цену трошкова корисника транспорта да би умањили додатне трошкове крајњих корисника производа.

Успостављање одрживог транспорта, односно спровођење енергетске и транспортне политике која омогућава већу енергетску ефикасност, један је главних начина за смањење емисије угљен-диоксида, а тако и побољшања квалитета живота грађана. Сектор транспорта представља једног од највећих емитера угљен-диоксида, а тиме и највећег загађивача животне средине са годишњом емисијом од 15% укупне емисије угљен-диоксида. Транспорт има кључни утицај на квалитет живота и економски раст и развој друштва, али је и један од највећих корисника енергије, са изразито ниском енергетском ефикасношћу и великом емисијом штетних гасова. Због тога је неопходно спровођење транспортних политика које омогућавају већу ефикасност у транспорту, рационалнију употребу енергије, смањују негативан утицај на животну средину и повећавају квалитет живота људи. Велике логистичке компаније улажу велике напоре како би смањиле емисију гасова, нудећи често решења крајњим корисницима која знатно штите животну средину.

Дакле, транзитно време и транспортни трошкови су два најчешћа посматрана критеријума у проблемима транспортног планирања. Емисија угљен-диоксида као једног од гасова који највише утиче на ефекат стаклене баште и промену климе, један од највећих изазова са којима се суочава наша генерација, приликом планирања ланаца снабдевања више се не може игнорисати: с једне стране, јер компаније имају моралну обавезу да послују на одржив начин, а са друге стране, јер купци постају све више и више свесни огромног утицаја на животну средину (Mansouri и др.,2015).

Усвојени критеријуми приликом израде дисертације су:

- Транспортни трошкови
- Транзитно време
- Емисија угљен-диоксида

### 3.2. Приступ решавању проблема

Опште карактеристике сваког вишекритеријумског проблема за разлику од једнокритеријумских проблема, огледају се у присутности следећих елемената:

- 1) више критеријума (функција циља, функција критеријума) за одлучивање
- 2) више могућих решења
- 3) процес избора једног коначног решења

У области вишекритеријумског одлучивања (ВКО) постоје две врсте проблема са становишта описивања разматране реалности посредством одговарајућег математичког модела:

- 1) Вишециљно одлучивање (ВЦО),
- 2) Циљно програмирање (ЦП), подгрупа у ВЦО
- 3) Вишеатрибутивно одлучивање (ВАО) или вишекритеријумска анализа (ВКА)

#### 3.2.1 Вишеатрибутивно одлучивање

Вишеатрибутни модел, односно модел вишеатрибутног одлучивања (ВАО), одговара лоше структурним проблемима и има следећу опште математичку поставку (Николић и Боровић, 1996.):

$$\begin{aligned} & \text{Max}\{f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x), n \geq 2\} \\ & (x) \in A = [a_1, a_2, \dots, a_m] \end{aligned}$$

где су:

$n$  - број критеријума (атрибута),  $j = 1, 2, \dots, n$ ,

$m$  - број алтернатива (акција),  $i = 1, 2, \dots, m$ ,

$f_i$  - критеријуми (атрибути),  $j = 1, 2, \dots, n$ ,

$a_i$  - алтернативе (акције) за разматрање,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,

$A$  - скуп свих алтернатива (акција)

При томе су познате и вредности  $f_{ij}$  сваког разматраног критеријума  $f_{ij}$  добијене са сваким од могућих алтернатива  $a_i$  :

$$f_{ij}=f_j(a_i) , \forall(i , j) , i =1,2,\dots,m ; j =1,2,\dots,n$$

Уобичајено је да се модел ВАО приказује одговарајућом матрицом вредности критеријума за поједине алтернативе:

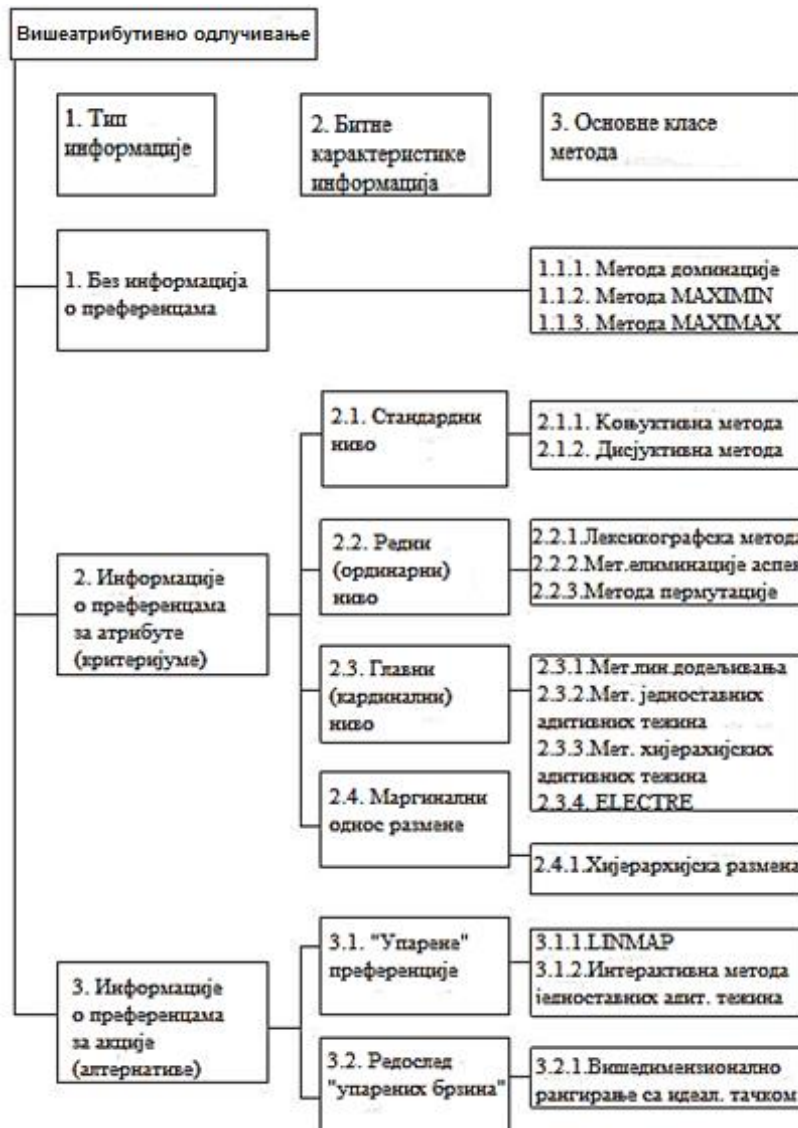
$$\begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ a_m \end{matrix} \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix}$$

### 3.2.2 Примена модела вишеатрибутивног одлучивања (ВАО)

У пракси су познате разне методе за решавање модела ВАО (Слика 11), посебно супознате методе ELECTRA, PROMETHEE. За моделе ВАО, независно од методе која ће се користити за решавање, значајни су и следећи аспекти:

- квантификација квалитативних атрибута
- модификација атрибута истог критеријума
- нормализација и линеаризација атрибута
- дефинисање тежинских коефицијената критеријума





Извор: Николић, Боровић: Вишекритеријумска оптимизација, 1996, п 3-60

Слика 11. Вишеатрибутивно одлучивање

Неке методе решења ВАО имају своје даље захтеве за дефинисањем одређених параметара метода.

### 3.2.3 Трансформација атрибута

Подаци за конкретни проблем ВАО могу бити таквог карактера да није могуће да се директно примени нека метода решавања (бројни подаци и описни подаци) или су подаци такве природе да отежавају решавање модела (велики бројеви или мали бројеви у целом моделу или за неке критеријуме). Услед тога неопходно је (у првом случају) или

пожељно је (у другом случају) извршити одговарајуће трансформације атрибута. (Lee и Yang, 2017).

### а) Квантификација квалитативних атрибута

Примена модела ВАО у општем случају захтева коришћење квантитативних (бројних) података. У случајевима када постоје и квалитативни подаци потребно их је превести у бројне податке. У ту сврху се користе варијанте скала трансформација (Lee и Yang, 2017).

### б) Модификација атрибута истог критеријума

Модификација атрибута истог критеријума може да олакша решавање модела и најчешће је потребно усагласити висину бројних вредности критеријума, односно превести захтев да се одреди минимална вредност неког критеријума у одређивање максималне вредности модификованог (супротног) критеријума (Lee и Yang, 2017).

### ц) Нормализација и линеаризација атрибута

Већина ефикасних метода за решавање модела ВАО у неком од корака показују одговарајућу трансформацију атрибута. За упоређивање атрибута различитих вредности, евентуално и различитих јединица мере, користи се један од два основна приступа из наставка (Lee и Yang, 2017).

Векторска нормализација:

$$r_{ij} = x_{ij} : \left( \sum_i x_{ij}^2 \right)^{-2} \text{ за } \max f_j \quad r_{ij} = 1 - \left[ x_{ij} : \left( \sum_i x_{ij}^2 \right)^{-2} \right]$$

за провођење  $\min f_j$  у  $\max f_j$  Линеарна скала трансформација:

$$l_{ij} = x_{ij} : x_j^{max}, \text{ за } \max f_j \quad l_{ij} = 1 - (x_{ij} : x_j^{max}), \text{ за } \min f_j \Rightarrow \max f_j, \text{ или}$$

$$l_{ij} = x_{ij} : x_j^{min}, \text{ или}$$

$$l_{ij} = (x_{ij} - x_j^{max}) : (x_j^{max} - x_j^{min}),$$

за  $\max f_j$

$$l_{ij} = (x_j^{max} - x_j^{min}) : (x_j - x_j^{min}), \text{ за } \min f_j \Rightarrow \max f_j$$

где су:

$$x_j^{max} = \max(x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m); = \min(x_{ij}, i = 1, 2, \dots, m),$$

$i$  - број алтернатива,  $i = 1, 2, \dots, n$

$j$  - број критеријума,  $j = 1, 2, \dots, m$

$x_{ij}$  - вредност  $j$ -тог критеријума по  $i$ -тој алтернативи

$r_{ij}$  - нормализована вредност

$l_{ij}$  - линеарна скала трансформације

### 3.2.4 Дефинисање тежинских коефицијената за критеријуме

Реални проблеми најчешће немају критеријуме истог степена значајности и потребно је да доносилац одлуке дефинише факторе значајности појединих критеријума користећи одговарајуће тежинске коефицијенте (тежине) или тзв. пондере за критеријуме (ако њихов збир износи 1 (један), то су нормализоване тежине). ((Lee и Yang, 2017; Bernardini и Macharis, 2015)

С обзиром на природу критеријума, вредности критеријума по алтернативама,  $x_{ij}$ , су или бројеви најразноврснијег типа, или лингвистички искази, нпр. из скупа исказа: велики, средњи, мали, или бинарни искази: да, не.

Нису сви критеријуми поједнако важни, па се њихов "значај" представља тежином критеријума. У овом делу вишекритеријумске анализе (одређивање тежина критеријума) долази до изражаја субјективизам – појединачни или групни. Суштина је да се субјективизаму анализу уводи на врло уређен начин. Другим речима субјективизам у вишекритеријумској анализи је неминовност, али се она може контролисати и ригорозно третирати.

Дефинисање тежина критеријума није увек једноставно и у суштини сваки доносилац одлуке субјективно дефинише тежинске коефицијенте. Тежински коефицијенти у неким методама имају одлучујући утицај на решење, може да се догоди да уведене вредности за тежине обезбеђују "добро решење" и потребно је анализирати како се решење понаша у зависности од могућих реалних варијанти за тежине критеријума. Проблем је једноставнији ако постоје апсолутни приоритети међу критеријумима. Тежине критеријума се могу дефинисати коришћењем Делфи методе, нарочито у ситуацијама које нису опште познате већ су познате само експертима.

Резултантна критеријумска функција у компромисном програмирању када доносилац одлуке може задати или мењати током решавања задатака ВКО тежине појединих критеријума, има следећи облик:

$$R(F(x), p, \omega) = \left\{ \sum_{i=1}^n \omega_i^p [f_i^* - f(x)]^p \right\}^{\frac{1}{p}}$$

где  $\omega_i$  представља тежински коефицијент за критеријумску функцију  $f_i(x)$ , да би се истакла зависност од параметра  $p$ .

Тежински коефицијенти су субјективне мере значајности појединих критеријума које доносилац одлуке дефинише на основу својих процена. За одређивање мера значајности критеријума предлаже се коришћење ентропије:

$$e(f_i) = \frac{1}{\ln J} \sum_{j=1}^n \left( \frac{d_{ij}}{S_i} \right) \ln \left( \frac{d_{ij}}{S_i} \right), i = 1, \dots, n$$

$$d_{ij} = \frac{(f_i^* - f_{ij})}{D_i}$$

где је:

$d_{ij} - j$  – та дискретна вредност ( $j = 1, \dots, J$ )  $i$  – те функције одступања,

$D_i$  – дужина опсега (ако није потребна трансформација онда је  $D_i = 1$ ),

$f_{ij} - j$  – та дискретна вредност  $i$  – те критеријумске функције,

$S_i$  – означава суму вредности  $S_i = \sum_j d_{ij}$

Коришћење тежинских коефицијената је најпогодније у оквиру итеративног поступка.

#### 4. МАТЕМАТИЧКИ МОДЕЛ

У овом поглављу дат је приказ новоразвијеног математичког модела као и валидација модела методом динамичког програмирања.

#### 4.1. Развијени математички модел

Новоразвијени математички модел у оквиру дисертације (енгл. *Multi-Objective Decision Model - MODM*) разматра следеће критеријуме у оквиру транспортног система: транзитно време, транспортне трошкове, емисију угљен-диоксида. За разлику од одлучивања по једном параметру, вишекритеријумско одлучивање истовремено даје одговоре на више питања. У стварним животним ситуацијама, доносиоци одлука често треба да се баве конфликтним циљевима. Укључивањем више циљева у модел добијају се тачне информације о посматраним објектима у исто време.

Транзитно време и транспортни трошкови су два најчешћа посматрана објекта у проблемима транспортног планирања. Емисија угљен-диоксида као једног од гасова који највише утиче на ефекат стаклене баште и промену климе, један од највећих изазова са којима се суочава наша генерација, приликом планирања ланца снабдевања више се не може игнорисати: с једне стране, јер компаније имају моралну обавезу да послују на одржив начин, а са друге стране, јер купци постају све више и више свесни огромног утицаја на животну средину.

У наставку су дефинисани параметри и променљиве:

Скуп	Опис
N	скуп чворова, $N = OUGUP$ , где је „O“ лука отпреме, „G“ лука истоваара и „P“ представља крајњу дестинацију
A	скуп грана који повезује луку утовара са крајњом дестинацијом, где је $A = FL \cup SL$ , док FL представља конекцију на мору, а SL на копну

Променљиве	Опис
$cf_{ij}^t$	бинарна трошковна променљива, представља контејнерски ток на морском делу повезујући одговарајућег оператера „i“ са одговарајућом луком „j“, узимајући у обзир различите типове контејнера „t“, $cf_{ij}^t \in \{0,1\}$
$cs_{jk}^t$	бинарна трошковна променљива, представља контејнерски ток на копненом делу повезујући одговарајућу луку „j“ и декларишући одговарајући вид превоза „k“ до крајње дестинације, узимајући у обзир различите типове контејнера „t“, $cs_{jk}^t \in \{0,1\}$

$tf_{ij}^s$	бинарна временска променљива, представља контејнерски ток на морском делу повезујући одговарајућег оператера „i“ са одговарајућом луком „j“, узимајући у обзир различите сервисе „s“ на мору, $tf_{ij}^s \in \{0,1\}$
$ts_{jk}$	бинарна временска променљива, представља контејнерски ток на копненом делу повезујући одговарајућу луку „j“ и декларишући одговарајући вид превоза „k“ до крајње дестинације, $ts_{jk} \in \{0,1\}$
$df_{ij}^s$	бинарна променљива емисије угљен-диоксида, представља контејнерски ток на морском делу повезујући одговарајућег оператера „i“ са одговарајућом луком „j“, узимајући у обзир различите сервисе „s“ на мору, $df_{ij}^s \in \{0,1\}$
$ds_{jk}$	бинарна променљива емисије угљен-диоксида, представља контејнерски ток на копненом делу повезујући одговарајућу луку „j“ и декларишући одговарајући вид превоза „k“ до крајње дестинације, $ds_{jk} \in \{0,1\}$

Параметри	Опис
$n_i$	број оператера
$n_j$	број прекрцајних лука
$n_k$	типови транспорта на копну
$n_s$	типови сервиса на мору
$n_t$	типови контејнера
$CFL_{ij}^t$	транспортни трошкови на мору (\$)
$CSL_{jk}^t$	транспортни трошкови на копну (€)
$CG_{ij}^t$	лучки трошкови (€)
$EM$	коэффициент емисије угљен-диоксида на мору
$EM_k$	коэффициент емисије угљен-диоксида на копну
$DFL_{ij}^s$	растојање на мору (од утоварне луке до прекрцајне) (km)
$DSL_{jk}$	растојање на копну (од прекрцајне луке до крајње дестинације) (km)
$TFL_{ij}^s$	транзитно време на мору (дани)
$TSL_{jk}$	транзитно време на копну (дани)
$EX$	коэффициент количника валута (€ / \$)

$$(i, j) \in FL, 1 \leq i \leq n_i, 1 \leq j \leq n_j$$

$$(j, k) \in SL, 1 \leq j \leq n_j, 1 \leq k \leq n_k$$

Функција циља:

Минимизација транспортних трошкова ( $Z_1$ ):

$$Z_1 = \min \left[ \sum_{(i,j) \in FL} \sum_{t=1}^{n_t} (CFL_{ij}^t + CG_{ij}^t) * cf_{ij}^t + \sum_{(j,k) \in SL} \sum_{t=1}^{n_t} CSL_{jk}^t * cs_{jk}^t \right] \quad (1)$$

Минимизација транзитног времена ( $Z_2$ ):

$$Z_2 = \min \left[ \sum_{(i,j) \in FL} \sum_{s=1}^{n_s} TFL_{ij}^s * tf_{ij}^s + \sum_{(j,k) \in SL} TSL_{jk} * ts_{jk} \right] \quad (2)$$

Минимизација емисије угљен-диоксида ( $Z_3$ ):

$$Z_3 = \min \left[ \sum_{(i,j) \in FL} \sum_{s=1}^{n_s} (DFL_{ij}^s * EM) * df_{ij}^s + \sum_{(j,k) \in SL} (DSL_{jk} * EM_k) * ds_{jk} \right] \quad (3)$$

Ограничења:

$$\sum_{i=1}^{n_i} cf_{ij}^t = \sum_{k=1}^{n_k} cs_{jk}^t, 1 \leq j \leq n_j, 1 \leq t \leq n_t \quad (4)$$

$$\sum_{(i,j) \in FL} cf_{ij}^t = n_i^t, 1 \leq t \leq n_t \quad (5)$$

$$\sum_{(j,k) \in SL} cs_{jk}^t = n_i^t, 1 \leq t \leq n_t \quad (6)$$

$$\sum_{(i,j) \in FL} cf_{ij} = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{(j,k) \in SL} cs_{jk} = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{(i,j) \in FL} cf_{ij} = \sum_{(j,k) \in SL} cs_{jk}, \forall j \quad (9)$$

$$\sum_{(i,j) \in FL} \sum_s tf_{ij}^s = 1 \quad (10)$$

$$\sum_{(j,k) \in SL} ts_{jk} = 1 \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{s=1}^{n_s} tf_{ij}^s = \sum_{k=1}^{n_k} ts_{jk}, \forall j \quad (12)$$

$$\sum_{(i,j) \in FL} \sum_s df_{ij}^s = 1 \quad (13)$$

$$\sum_{(j,k) \in SL} ds_{jk} = 1 \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{s=1}^{n_s} df_{ij}^s = \sum_{k=1}^{n_k} ds_{jk}, \forall j \quad (15)$$

Одговарајућа објашњења:

Функција (1) минимизира укупне транспортне трошкове у посматраној транспортној мрежи, приликом увоза различитих типова контејнера. Они представљају суму свих трошкова на морском делу, лучких трошкова у посматраним медитеранским лукама и транспортне трошкове камиона, железнице и барже који су ангажовани за



превоз контејнера на копненом делу. Функција (2) минимизира укупно транзитно време потребно за допрему контејнера од луке отпреме до финалног места допреме терета, узимајући у обзир различите типове сервиса на мору. Њена сума представља збир транзитног времена на мору посматрајући редом различите сервисе, различитих бродара на мору и транзитног времена на копну у које је укључено време чекања на отпрему у прекрцајној луци у зависности од избора типа копненог превоза. Функција (3) минимизира укупну емисију угљен-диоксида. Она представљају суму укупне емисије угљен-диоксида на мору сходно различитим растојањима по типовима сервиса бродара и укупну емисију угљен-диоксида на копну, узимајући у обзир различите емисионе коефицијенте у зависности од типа изабраног копненог превоза. Ограничење (4) показује да је укупан број контејнера који доспеју у прекрцајну луку једнак броју контејнера који напуштају исту луку. Ограничења (5) и (6) изједначавају укупан број контејнера различитог типа са укупним бројем контејнера из претходно дефинисаног скупа, за сваки од дефинисаних рута, било на мору или на копну. Ограничења (7) и (8) дефинишу јединствено најповољније решење посматрајући групу могућих парова решења у погледу транспортних трошкова на мору и копну. Ограничење (9) врши селекцију и повезује морски и копнени део са аспекта транспортних трошкова. Ограничења (10) и (11) дефинишу јединствено најповољније решење посматрајући групу могућих парова решења у погледу транзитног времена на мору и копну. Ограничење (12) врши селекцију и повезује морски и копнени део са аспекта транзитног времена. Ограничења (13) и (14) дефинишу јединствено најповољније решење посматрајући групу могућих парова решења у погледу емисије угљен-диоксида на мору и копну. Ограничење (15) врши селекцију и повезује морски и копнени део са аспекта емисије угљен-диоксида.

Презентовани математички модел нам пружа могућност формирања адекватне ранг листе свих могућих решења: транзитног времена, транспортних трошкова и емисије угљен-диоксида.

Ранг листа – транспортни трошкови:

$$G_1 = \min \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_{n-1} \\ c_n \end{pmatrix}$$

Ранг листа – транзитно време:

$$G_2 = \min \begin{pmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_{n-1} \\ t_n \end{pmatrix}$$

Ранг листа – емисија угљен-диоксида:

$$G_3 = \min \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_{n-1} \\ h_n \end{pmatrix}$$

Коначна MODM ранг листа:

$$G_{fin} = \frac{1}{\alpha + \beta + \gamma} \min \begin{pmatrix} \frac{\alpha c_1}{G_1} + \frac{\beta t_1}{G_2} + \frac{\gamma h_1}{G_3} \\ \frac{\alpha c_2}{G_1} + \frac{\beta t_2}{G_2} + \frac{\gamma h_2}{G_3} \\ \vdots \\ \frac{\alpha c_{n-1}}{G_1} + \frac{\beta t_{n-1}}{G_2} + \frac{\gamma h_{n-1}}{G_3} \\ \frac{\alpha c_n}{G_1} + \frac{\beta t_n}{G_2} + \frac{\gamma h_n}{G_3} \end{pmatrix}$$

где су:

$c$  - транспортни трошкови на свим рутама

$t$  - транзитна времена на свим рутама

$h$  - емисија угљен-диоксида на свим рутама

$\alpha, \beta, \gamma$  - пондери

$G_{fin}$  - коначна ранг листа новоразвијеног математичког модела

## 4.2. Валидација модела

У развоју новог модела, основни циљ је мерљиви резултат са својим карактеристикама, које су такође мерљиве неком методом испитивања. Резултат нашег развоја поседује једну карактеристику, а то је да поседује функционалност односно да задовољи неку потребу наручиоца посла на задати начин. Ова два сегмента, мерљивост и функционалност, су основа верификације и валидације. Код верификације постоје писани захтеви које резултат мора испуњавати и методе по којима се то испитује. Резултат испитивања показује да ли је резултат развоја задовољио тражене карактеристике. Код валидације је ситуација другачија. Валидација је испитивање функционалности резултата развоја у стварним условима употребе. Валидација је процес евалуације система или компоненте за време или на крају процеса развоја да би се утврдило да ли задовољава захтеве дефинисане од корисника (Schellenberger, 1974).

Вредновање модела се према Zeigler, 1976. Sargent, 1981. Gass, 1983. у општем случају односи на валидацију модела (validation), којом се испитује слагање понашања модела и система који је моделиран. Валидација модела обухвата утврђивање (Schellenberger, 1974):

- 1) Техничке валидације – којом се идентификују све претпоставке модела и њихова дивергенција у односу на стварни систем;
- 2) Операционе валидације – којом се процењује значај грешака нађених код испитивања техничке валидације и тиме омогућава доношење одлуке о прихватању модела;
- 3) Динамичке валидације – којом се предлажу начини одржавања модела током његовог животног циклуса.

У складу са наведеним и узимајући у обзир карактеристике модела дефинисани су поступци којима је реализовано вредновање.

Према томе, што се тиче валидације модела, свака фаза развоја модела је захтевала одређену проверу и тестирање, са циљем да се прелиминарно обезбеди ваљан модел и, између осталих, то су:

- 1) Провера исправности протокола на основу кога је прикупљен узорак – како се поједини параметри модела дефинишу на основу карактеристика емпиријског материјала било је потребно прибавити одговарјуће податке;
- 2) Провера софтверске имплементације аналитичке методе – утврђивање да ли су сви параметри и функције тачно дефинисани и имплементирани у софтвер;
- 3) Тестирање рада модела у софтверу – рад модела је тестиран са три одабрана параметра;
- 4) Контрола садржаја програмираног материјала – пилот тестирањем је проверен материјал на основу кога је модел тестиран.

Новоразвијени модел (MODM), у циљу верификације и валидације, упоређен је са методом динамичког програмирања.

Динамичко програмирање се обично примењује у проблемима оптимизације: проблем може имати много решења, свако решење има вредност, а тражи се решење које има оптималну (највећу или најмању) вредност. У случају да постоји више решења која имају оптималну вредност, обично се тражи било које од њих. У једној широкој класи проблема оптимизације, једно од оптималних решења можемо наћи користећи динамичко програмирање. Сама реч "програмирање" овде се (као и у линеарном програмирању) односи на попуњавање табеле при решавању проблема, а не на употребу компјутера и програмских језика.

Технике оптимизације које имају елементе динамичког програмирања су биле познате и раније, али творцем метода данас се сматра професор Ричард Е. Белман. Средином педесетих година, Белман је проучавао динамичко програмирање и дао чврсту математичку основу за овај начин решавања проблема. Уопштено говорећи, проблем се решава тако што се уочи хијерархија проблема истог типа, садржаних у главном проблему, и решавање се почне од најједноставнијих проблема. Вредности и делови решења свих решених подпроблема се памте у табели, па се даље њиховим комбиновањем добијају решења већих подпроблема све до решења главног проблема.

Дакле, динамичко програмирање је метод којим се смањује време извршавања оних проблема у којима се захтева тражење најбоље подструктуре и који имају потпроблеме који се понављају. Појам најбоља подструктура означава тражење најбољих решења потпроблема и њихово коришћење у циљу тражења најбољег решења целокупног проблема. У наставку дат је приказ методе динамичког програмирања примењене на посматране критеријуме које је потребно редом минимизирати у циљу

налажења најбољег решења. Резултати добијени применом методе динамичког програмирања приказани су у петом поглављу (5.8.)

Минимизација транспортних трошкова ( $C_{min}^t$ ):

$$C_{ij}^t = CFL_{ij}^t + CG_{ij}^t$$

$$C_{min}^t = \min_{i \in \{1, \dots, n_i\}; j \in \{1, \dots, n_j\}} [C_{ij}^t + \min_{k \in \{1, \dots, n_k\}} CSL_{jk}^t] \quad (16)$$

Минимизација транзитног времена ( $T_{min}$ ):

$$T_{ij}^s = TFL_{ij}^s$$

$$T_{min} = \min_{i \in \{1, \dots, n_i\}; j \in \{1, \dots, n_j\}; s \in \{1, \dots, n_s\}} [T_{ij}^s + \min_{k \in \{1, \dots, n_k\}} TSL_{jk}] \quad (17)$$

Минимизација емисије угљен-диоксида ( $E_{min}$ ):

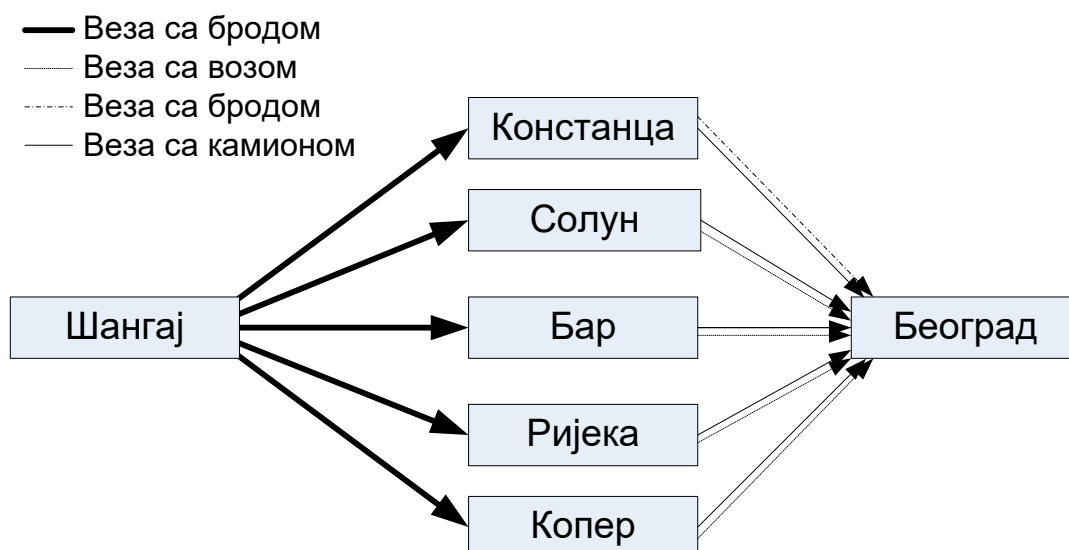
$$E_{ij}^s = DFL_{ij}^s * EM$$

$$E_{min} = \min_{i \in \{1, \dots, n_i\}; j \in \{1, \dots, n_j\}; s \in \{1, \dots, n_s\}} [E_{ij}^s + \min_{k \in \{1, \dots, n_k\}} (DSL_{jk} * EM_k)] \quad (18)$$

Методом динамичког програмирања  $\forall_i, \forall_j, \forall_s, \forall_k$ , одређене су најбоље вредности сваког потпроблема, где су запамђени редом сваки од параметара:  $i$  - оператер,  $j$  - лука прекрцаја,  $k$  - тип транспорта на копну,  $s$  - бродски сервис на мору. Новоразвијени математички модел за разлику од методе динамичког програмирања најбоље решење бира из спектра свих потенцијалних, методом рангирања.

## 5. РЕЗУЛТАТИ РАДА

У дисертацији је разматран транспортни систем са посебним освртом на увоз различитих типова контејнера (слике 4 и 5). Транспортни систем чине океански део на коме су контејнери транспортовани посредством највећих светских бродара и копнени део на коме су контејнери транспортовани користећи различите видове превоза. Транспортни систем приказан на слици број 12, чине три категорије чворова: лука утовара, лука истовара и крајње место допреме контејнера и две врсте грана који повезују наведене чворове. У наставку је приказан пример транспортног система за потребе верификације математичког модела.



Слика 12. Пример транспортног система на коме је верификован математички модел

Сваки од чворова поседује своју посебну карактеристику: лука утовара, лука истовара, место допреме.

### Лука утовара:

За верификацију математичког модела као утоварна лука изабран је Шангај. Шангајска лука је светски најпрометнија лука на свету, и лоцирана је у срцу делте реке Јангце. Циљ Шангаја је да буде интернационални а шпедитерски центар у блиској будућности. Шангај је од 2005 године по укупном промету највећа морска лука на свету, а од 2010 и највећа светска контејнерска лука. У току 2016 године Шангај је имао промет

од 37.13 милиона TEU. Само у току 2016. године промет контејнера је порастао 1,6 % у односу на 2015. годину.

### Лука истовара:

Повезане су са луком утовара морима. Главна чворишта за увоз контејнера у Србију су луке: Ријека, Бар, Копар, Констанца и Солун. Табела 10. приказује укупан увоз / извоз контејнера у току 2015. године. (Републички завод за статистику, 2015)

**Табела 10.** Укупан увоз и извоз контејнера у Србију у 2015 години  
**2015**

Лука	ТЕУ	%
Ријека	41.000	63,07 %
Бар	16.000	24,62 %
Копар	4.500	6,92 %
Констанца	1.000	1,54 %
Солун	1.500	2,30 %
Северноевропске	1.000	1,54 %
<b>ТЕУ</b>	<b>65.000</b>	

*Извор: Републички завод за статистику, 2015*

### Место допреме:

Србија је континентална држава, док београдски регион представља највећи проценат целокупног увоза робе у Србију (Републички завод за статистику, 2016). Са истоварним лукама повезан је директним везама и контејнери се могу транспортовати различитим видовима превоза (железнички, друмски, речни).

Такође, свака од грана поседује своју посебну карактеристику: морске везе, копнене везе.

### Морске везе:

Контејнери се морским путем транспортују од луке утовара до луке истовара различитим контејнерским бродовима. У овом раду су разматрани контејнерски бродови који су у власништву 6 највећих бродарских компанија (Maersk Line - MSK, Mediterranean Shipping Company - MSC, CMA CGM, Evergreen Line - EMC, China Ocean

Shipping Company - COSCO и Hapag-Lloyd) (слика 7). Сваки од наведених бродова који су у власништву наведених компанија посредством различитих сервиса транспортује контејнере од луке Шангај до номинованих лука у Медитерану (Табела 11).

**Табела 11.** Списак бродских сервиса од Шангаја ка номинованим лукама

<i>ШАНГАЈ-</i>	<i>КОНСТАНЦА</i>	<i>СОЛУН</i>	<i>БАР</i>	<i>РИЈЕКА</i>	<i>КОПАР</i>
<i>MAERSK</i>	AE3	AE20 + L51	/	AE12	AE12
<i>MSC</i>	Tiger Service + Black Sea	Tiger Service + East Mediterranean	Dragon Service + West Mediterranean	Dragon Service + West Mediterranean	Dragon Service + West Mediterranean
<i>CMA - CGM</i>	BEX	MEX + FEMEX 1 / BEX + FEMEX 1	MEX + FEEDNAP / NEWMEX2S + FEEDNAP	BEX2	BEX2
<i>COSCO</i>	CESS + AFS / MD1 + AFS / ABX + AFS	CESS + AFS / MD1 + AFS / ABX + AFS	/	CESS + AFS / MD1 + AFS / ABX + AFS	ABX
<i>EVERGREEN</i>	UAM	UAM	/	UAM + GTS / CES + GCY / MD1 + GCY	CES + BSF / MD1 + BSF
<i>HAPAG LLOYD</i>	EUM + ADX / LOOP 4 + ADX	EUM + ADX / LOOP 4 + ADX	/	LOOP 4 / EUM	EUM + BSF / LOOP 4 + BSF

У табели 12 приказан је укупан промет контејнера кроз Републику Србију у току 2015. године, подељен редом према посматраним бродарима.

**Табела 12.** Водеће бродарске контејнерске компаније за српско тржиште

<b>2015</b>		
<b>Бродар</b>	<b>ТЕУ</b>	<b>%</b>
MSC	21.000	32,31 %
Maersk Line	17.000	26,15 %
COSCO	10.000	15,38 %
CMA CGM	8.000	12,31 %
Evergreen	4.000	6,15 %
HapagLloyd	2.000	3,08 %
Остали	3.000	4,62 %
<b>ТЕУ</b>	<b>65.000</b>	<b>100%</b>

Извор: Републички завод за статистику, 2015



## Копнене везе:

Копненим везама контејнери се допремају од истоварних лука до крајње дестинације у Београду. Контејнери се могу допремити до терминала у Београду или до крајњих корисника различитим видовима превоза, железничким до железничког интегралног терминала – ЖИТ, речним до Луке Београд и друмским до крајњег корисника. На слици 13 приказана је веза истоварних лука са Београдом.



Слика 13. Копнене везе лука истовара са Београдом (Рајковић, 2014)

Копнене везе које између лука допреме (искрцајне луке) и крајњег места допреме користе различите видове превоза приказане су у табела 13.

**Табела 13.** Повезаност луке допреме са Београдом посредством различитих видова транспорта

Лука / Вид транспорта	Камион	Железница	Баржа
Копар	х	х	
Ријека	х	х	
Бар	х	х	
Солун	х	х	
Констанца	х		х

### 5.1. Улазни подаци

Укупни трошкови транспорта, најчешће коришћених типова контејнера (слике 4 и 5) од луке Шангај до Београда у овом раду, представљају суму свих транспортних трошкова, обухватајући трошкове транспорта на морском делу од луке Шангај до лука у Европи (Констанца, Солун, Бар, Ријека и Копар), лучке трошкове, трошкове манипулација и царинских формалности у истоварним лукама и трошкове транспорта од номинованих лука до терминала у Београду користећи различите видове превоза. Превоз контејнера железницом и баржама обухватају и трошкове манипулације контејнера на терминалима у Београду и локалног развоза камионом до крајњег корисника. У табелама 15, 16 и 17 приказане су редом бродске возарине изабраних бродара (MSK, MSC, CMA-CGM, Нарaг Lioyd, COSCO, EMC) од Шангаја до истоварних лука. Вредност бродских возарина за различите типове контејнера (слике 4 и 5) је упросечена за период јануар – децембар 2015 године.

**Табела 14.** Бродска возарина од Шангаја до номинованих лука истовара (20 DV)

20 DV	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
MAERSK	1300 \$	1175 \$	/	1283 \$	1283 \$
MSC	1183 \$	1267 \$	1267 \$	1133 \$	1133 \$
CMA – CGM	1188 \$	1367 \$	1650 \$	1250 \$	1250 \$
HAPAG LLOYD	1299 \$	1711 \$	1931 \$	1310 \$	1310 \$
EVERGREEN	1650 \$	1283 \$	/	1196 \$	1196 \$
COSCO	1185 \$	1379 \$	/	1200 \$	1200 \$

**Табела 15.** Бродска возарина од Шангаја до номинованих лука истовара (40 DV)

40 DV	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
MAERSK	2400 \$	2350 \$	/	2383 \$	2383 \$
MSC	2308 \$	2458 \$	2517 \$	2250 \$	2250 \$
CMA – CGM	2233 \$	2542 \$	3200 \$	2400 \$	2408 \$
HAPAG LLOYD	2547 \$	3368 \$	3862 \$	2621 \$	2621 \$
EVERGREEN	3017 \$	2367 \$	/	2267 \$	2267 \$
COSCO	2270 \$	2633 \$	/	2300 \$	2300 \$

**Табела 16.** Бродска возарина од Шангаја до номинованих лука истовара (40 HQ)

40 HQ	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
MAERSK	2400 \$	2350 \$	/	2433 \$	2433 \$
MSC	2308 \$	2458 \$	2567 \$	2300 \$	2300 \$
CMA - CGM	2250 \$	2567 \$	3300 \$	2450 \$	2458 \$
HAPAG LLOYD	2647 \$	3468 \$	3962 \$	2721 \$	2721 \$
EVERGREEN	3108 \$	2408 \$	/	2333 \$	2325 \$
COSCO	2330 \$	2683 \$	/	2367 \$	2367 \$

У табелама 17, 18 и 19 приказане су редом вредности лучких трошкова за изабране типове контејнера у зависности од имена бордара као и луке истовара. Вредност лучких трошкова је упросечена за период јануар – децембар 2015 године.

**Табела 17.** Лучки трошкови (20 DV)

20 DV	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
MAERSK	250€	240 €	/	200 €	200 €
MSC	250€	240 €	280 €	227 €	227 €
CMA - CGM	250€	240 €	210 €	210 €	210 €
HAPAG LLOYD	250€	240 €	250 €	200 €	200 €
EVERGREEN	250€	240 €	/	196 €	196 €
COSCO	250€	240 €	/	195 €	195 €

**Табела 18. Лучки трошкови (40 DV)**

40 DV	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
MAERSK	250€	340 €	/	200 €	200 €
MSC	250€	340 €	290 €	227 €	227 €
CMA - CGM	250€	340 €	210 €	210 €	210 €
HAPAG LLOYD	250€	340 €	250 €	200 €	200 €
EVERGREEN	250€	340 €	/	236 €	236 €
COSCO	250€	340 €	/	195 €	195 €

**Табела 19. Лучки трошкови (40 HQ)**

40 HQ	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
MAERSK	250€	340 €	/	200 €	200 €
MSC	250€	340 €	290 €	227 €	227 €
CMA - CGM	250€	340 €	210 €	210 €	210 €
HAPAG LLOYD	250€	340 €	250 €	200 €	200 €
EVERGREEN	250€	340 €	/	236 €	236 €
COSCO	250€	340 €	/	195 €	195 €

У табелама 20, 21 и 22 приказани су редом трошкови транспорта (камионски, железнички, речни) од лука истовара до Београда (крајњег корисника). Укупни дефинисани трошкови представљају збир трошкова превоза од луке истовара до Београда, трошкова отпреме (израде транзитних папира), манипулације (претовара) са једног на други вид превоза и допреме до крајњег корисника (нпр. од луке Београд или железничког терминала – енгл. "last mile delivery"). Цена речног транспорта је узета из периода 2010. године, када је последњи пут била развијена редовна линија на релацији Констанца – Београд. Вредност железничких и друмских трошкова трошкова је упросечена за период јануар – децембар 2015 године.

**Табела 20. Копнени транспортни трошкови (20 DV)**

20 DV	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
КАМИОН	1750€	930 €	590 €	690 €	790 €
ЖЕЛЕЗНИЦА	/	800 €	605 €	575 €	740 €
БАРЖА	470€	/	/	/	/

**Табела 21.** Копнени транспортни трошкови (40 DV)

40 DV	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
КАМИОН	1750€	930 €	590 €	690 €	790 €
ЖЕЛЕЗНИЦА	/	950 €	705 €	660 €	920 €
БАРЖА	570€	/	/	/	/

**Табела 22.** Копнени транспортни трошкови (40 HQ)

40 HQ	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
КАМИОН	1750€	930 €	590 €	690 €	790 €
ЖЕЛЕЗНИЦА	/	950 €	705 €	660 €	920 €
БАРЖА	570€	/	/	/	/

Укупно транзитно време које је анализирано у овом раду представља време од тренутка испловљавања контејнерског брода из луке утовара до тренутка приспећа контејнера до одговарајуће дестинације у Београду. Оно обухвата време транспорта контејнера на мору које се разликује у зависности од бродских сервиса различитих бродара (један бродар може на највише 3 начина стићи до луке истовара), време чекања на отпрему контејнера у луци истовара и време транспорта контејнера од луке истовара до крајње тачке у Београду. У табели 23 приказано је време транспорта на мору, док табела 24 приказује време транспорта на копну.

**Табела 23.** Транзитно време на мору (дани)

ШАНГАЈ -	РИЈЕКА	КОПАР	БАР	СОЛУН	КОНСТАНЦА
MAERSK	32	30	/	32	29
MSC	31	34	33	31	38
CMA - CGM	32	30	34 / 37	34 / 35	29
COSCO	29 / 27 / 31	30 / 28 / 32	/	31 / 29 / 26	30
EVERGREEN	35	33	/	45 / 26 / 31	31 / 36
HAPAG LLOYD	31 / 33	32 / 34	/	29 / 34	34 / 36

**Табела 24.** Транзитно време на копну

20 DV/40 DV/40 HQ	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
КАМИОН	3 дана	2 дана	2 дана	2 дана	2 дана
ЖЕЛЕЗНИЦА	/	7 дана	5 дана	4 дана	5 дана
БАРЖА	12 дана	/	/	/	/

Укупна емисија угљен-диоксида представља збир емисије на мору и емисије на копну. Емисија гасова приликом манипулације у луци истовара је занемарљиво мала. У табели 25 приказан је емисиони фактор за сваки од вида транспорта.

**CO<sub>2</sub> емисија = растојање x емисиони фактор**

$$g \text{ CO}_2 / \text{TEU} = km \times [g \text{ of CO}_2 / (\text{TEU} \times km)]$$

**Табела 25.** Емисиони фактори у зависности од вида транспорта

ВИД ТРАНСПОРТА	kg CO <sub>2</sub> / TEU
КАМИОН	0,072
ЖЕЛЕЗНИЦА	0,205
БАРЖА	0,084
КОНТЕЈНЕРСКИ БРОД	0,084

*Извор: Greenhouse Gas Protocol - Distance-based methodology for calculating CO<sub>2</sub> emissions (Maersk Line 2012)*

У табелама 26 и 27 приказана су растојања на мору (у зависности од различитих бродских сервиса – табела 11) и растојања на копну.

**Табела 26.** Растојања на мору

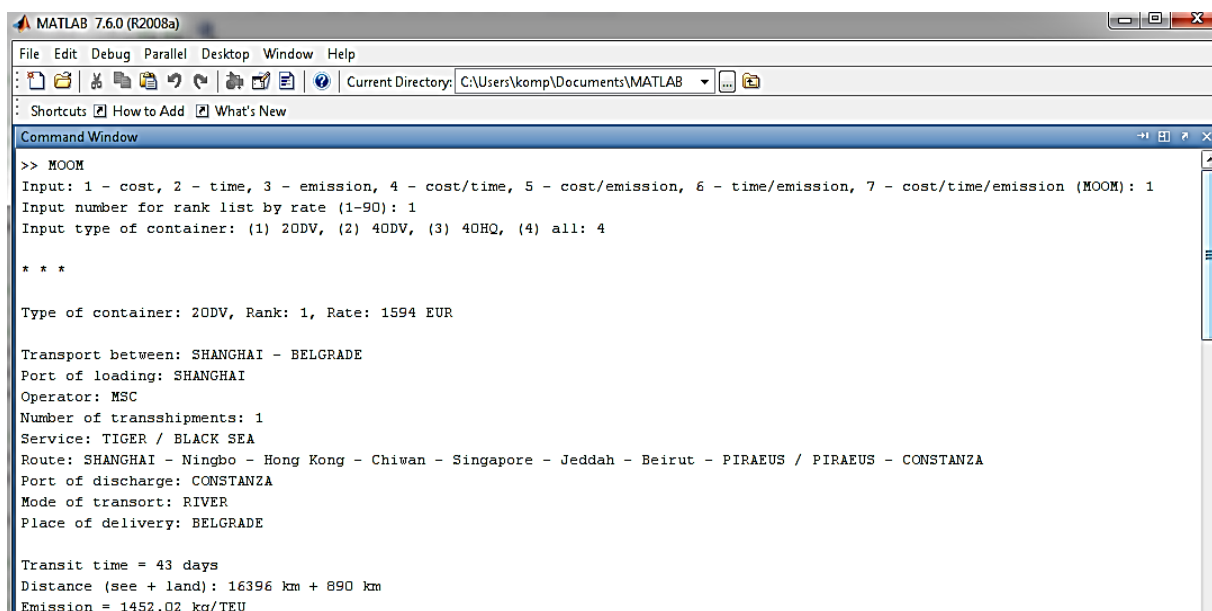
ШАНГАЈ -	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
MAERSK	15847 km	15330 km	/	18251 km	18089 km
MSC	16396 km	15848 km	17178 km	16543 km	17012 km
СМА - CGM	15847 km	18162 km / 17852 km	16780 km / 16715 km	18251 km	18089 km
НАРАG LIOYD	16952 km / 17131 km / 16830 km	18250 km / 18356 km / 17892 km	/	18325 km / 18460 km / 18290 km	18089 km
EVERGREEN	17403 km	17415 km	/	15344 km / 15356 km / 19431 km	17852 km / 17689 km
COSCO	16374 km / 15344 km	15356 km / 16856 km	/	16406 km / 16417 km	17917 km / 16580 km

**Табела 27.** Растојања на копну

ДО БЕОГРАДА	КОНСТАНЦА	СОЛУН	БАР	РИЈЕКА	КОПАР
КАМИОН	800 km	650 km	450 km	550 km	600 km
ЖЕЛЕЗНИЦА	/	766 km	500 km	666 km	700 km
БАРЖА	890 km	/	/	/	/

## 5.2. Сценарио 1

У овом сценарију је анализирана минимизација транспортних трошкова. Минимални транспортни трошкови за редом посматране контејнере (20 DV, 40 DV, 40 HQ) износе 1594 €, 2470 €, 2483 €, док су редом номиновани бродари (MSC, СМА - CGM, СМА - CGM). Ови подаци су валидни за август 2010. године. Обзиром да контејнерски транспорт на доњем току Дунава (од Констанце до Београда) није тренутно активан, наведени подаци се узимају само као хипотетички. Такође, поред одабира најповољније руте у погледу транспортних трошкова може се направити и приказ свих могућих решења, рангирајући решења у опадајућем поретку. Слика 14 приказује резултате примене модела приликом минимизације транспортних трошкова.



```

MATLAB 7.6.0 (R2008a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\komp\Documents\MATLAB
Shortcuts: How to Add What's New

Command Window
>> MOOM
Input: 1 - cost, 2 - time, 3 - emission, 4 - cost/time, 5 - cost/emission, 6 - time/emission, 7 - cost/time/emission (MOOM): 1
Input number for rank list by rate (1-90): 1
Input type of container: (1) 20DV, (2) 40DV, (3) 40HQ, (4) all: 4

* * *

Type of container: 20DV, Rank: 1, Rate: 1594 EUR

Transport between: SHANGHAI - BELGRADE
Port of loading: SHANGHAI
Operator: MSC
Number of transshipments: 1
Service: TIGER / BLACK SEA
Route: SHANGHAI - Ningbo - Hong Kong - Chiwan - Singapore - Jeddah - Beirut - PIRAEUS / PIRAEUS - CONSTANZA
Port of discharge: CONSTANZA
Mode of transport: RIVER
Place of delivery: BELGRADE

Transit time = 43 days
Distance (see + land): 16396 km + 890 km
Emission = 1452.02 kg/TEU
    
```

\* \* \*

Type of container: 40DV, Rank: 1, Rate: 2470 EUR

Transport between: SHANGHAI - BELGRADE

Port of loading: SHANGHAI

Operator: CMA-CGM

Number of transshipments: 1

Service: BEX / FEMEX1

Route: SHANGHAI - Ningbo - Chiwan - Yantian - Tanjung Pelepas - Izmit - Istanbul Ambarili - CONSTANZA

Port of discharge: CONSTANZA

Mode of transport: RIVER

Place of delivery: BELGRADE

Transit time = 41 days

Distance (see + land): 15847 km + 890 km

Emission = 1405.91 kg/TEU

\* \* \*

Type of container: 40HQ, Rank: 1, Rate: 2483 EUR

Transport between: SHANGHAI - BELGRADE

Port of loading: SHANGHAI

Operator: CMA-CGM

Number of transshipments: 1

Service: BEX / FEMEX1

Route: SHANGHAI - Ningbo - Chiwan - Yantian - Tanjung Pelepas - Izmit - Istanbul Ambarili - CONSTANZA

Port of discharge: CONSTANZA

Mode of transport: RIVER

Place of delivery: BELGRADE

Transit time = 41 days

Distance (see + land): 15847 km + 890 km

Emission = 1405.91 kg/TEU

#### Слика 14. Резултати примене модела – минимизација транспортних трошкова

На слици 15 дат је приказ ВЕХ бродског сервиса који је најповољнији приликом транспорта 40 HQ контејнера, у погледу минимизације транспортних трошкова од Шангаја до Београда.



Слика 15. ВЕХ сервис



### 5.3. Сценарио 2

Резултати који анализирају минимизацију по критеријуму ("минимално време") приказани су у табели 28. Примећује се да је минимално добијено транзитно време од Шангаја до Београда 28 дана користећи бродара COSCO и комбинацију морских сервиса China/Europe Shuttle Service - CESS (слика 16) и Adriatic Feeder Service - AFS (слика 17). Прекрцајна лука где се сусрећу сервиси је лука Пиреј, а истоварна лука је лука Солун одакле су контејнери накнадно транспортовани камионом до Београда. У табели 28 су такође приказане и цене за различите типове контејнера као и укупно растојање од Шангаја до Београда мерено у километрима.

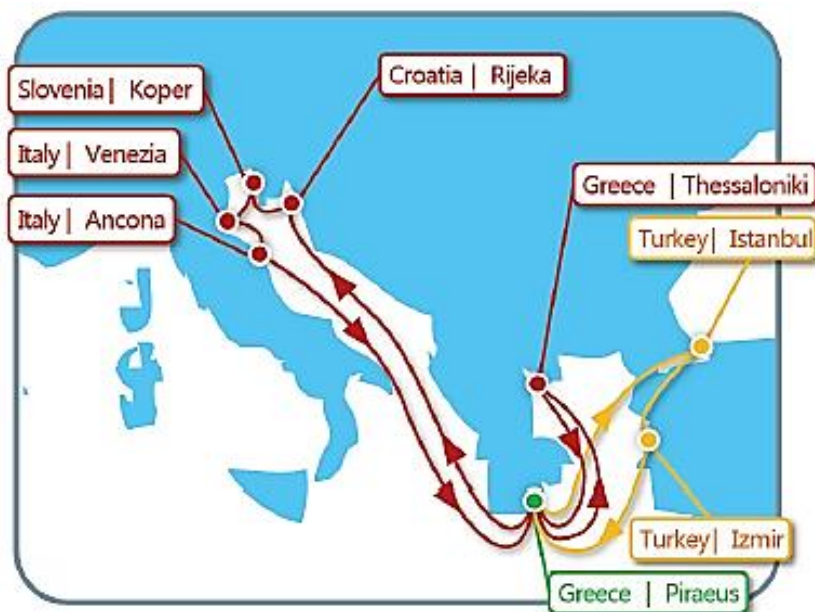
**Табела 28.** Минимално транзитно време

<b>Лука утовара</b>	Shanghai
<b>Бродар</b>	COSCO
<b>Број прекрцаја</b>	1
<b>Сервис</b>	CESS / AFS
<b>Рута</b>	Shanghai-Ningbo-Shekou-Singapore-PortKelang-Pireaus/Pireaus-Thessaloniki
<b>Лука истовара</b>	Солун
<b>Превозно средство</b>	Камион
<b>Место допреме</b>	Београд
<b>Минимално време</b>	28 дана
<b>Цена 20 DV</b>	2189 €
<b>Цена 40 DV</b>	3216 €
<b>Цена 40 HQ</b>	3253 €
<b>Растојање</b>	17498 km



ТРАНЗИТНО ВРЕМЕ (ДАНИ)				
From / To	Piraeus	Kumpport	Constantza	Ilyichevsk
Shanghai	22	24	26	29
Ningbo	21	23	25	28
Shekou	18	20	22	25
Singapore	14	16	18	21
Port Kelang	13	15	17	20

Слика 16. China/Europe Shuttle Service – CESS



←

**Adriatic Feeder (AFS)**

Port	Time
Piraeus	0
Thessaloniki	2
Piraeus	5
Rijeka	8
Koper	9
Venezia	11
Ancona	12
Piraeus	14

Слика 17. Adriatic Feeder Service – AFS

Укупно транзитно време је збир времена у наставку:

- Транзитно време од Шангаја до Пиреја - 22 дана
- Чекање на мањи ткз. "феедер" брод у Пиреју - 2 дана
- Транзитно време од Пиреја до Солуна - 2 дана
- Искрцај са брода у Солуну и израда транзитних папира - 1 дан
- Транзитно време од Солуна до Београда камионом - 1 дан

## 5.4. Сценарио 3

Резултати који анализирају минимизацију по критеријуму ("минимална емисија угљен-диоксида") приказани су на слици 18. Примећује се да је минимална апроксимација емисије угљен-диоксида од Шангаја до Београда 1405,91 kgCO<sub>2</sub>/TEU користећи бродара MAERSK који преко бродског сервиса АЕЗ (слика 19) плови до луке Констанца, а накнадно до Београда долази баржом.

```
MATLAB 7.6.0 (R2008a)
File Edit Debug Parallel Desktop Window Help
Current Directory: C:\Users\komp\Documents\MATLAB
Shortcuts How to Add What's New

Command Window
>> MOOM
Input: 1 - cost, 2 - time, 3 - emission, 4 - cost/time, 5 - cost/emission, 6 - time/emission, 7 - cost/time/emission (MOOM): 3
Input number for rank list (1-270): 1

* * *

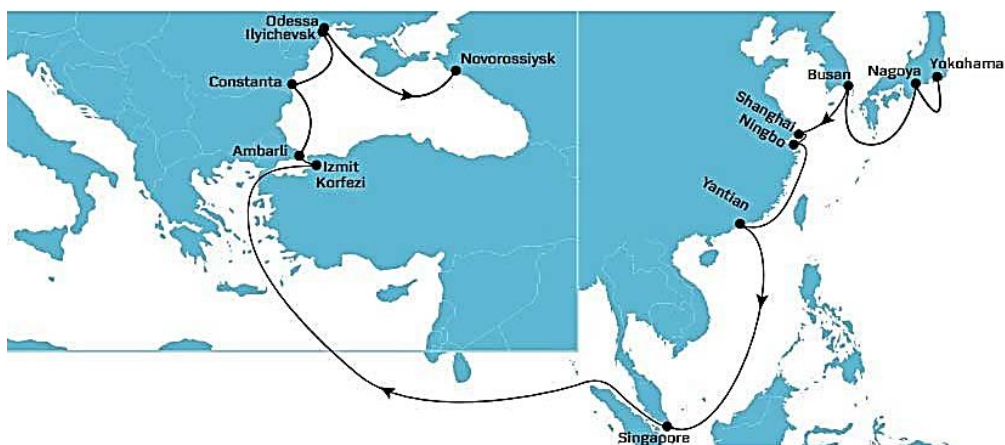
Type of container: TEU, Rank: 1, Rate: 1681 EUR

Transport between: SHANGHAI - BELGRADE
Port of loading: SHANGHAI
Operator: MAERSK LINE
Number of transshipments: 0
Service: AE3
Route: SHANGHAI - Ningbo - Chiwan - Yantian - Tanjung Pelepas - Izmit - Istanbul Ambarli - CONSTANZA
Port of discharge: CONSTANZA
Mode of transport: RIVER
Place of delivery: BELGRADE

Transit time = 41 days
Distance (see + land): 15847 km + 890 km
Emission = 1405.91 kg CO2/TEU

Elapsed time is 3.970868 seconds.
```

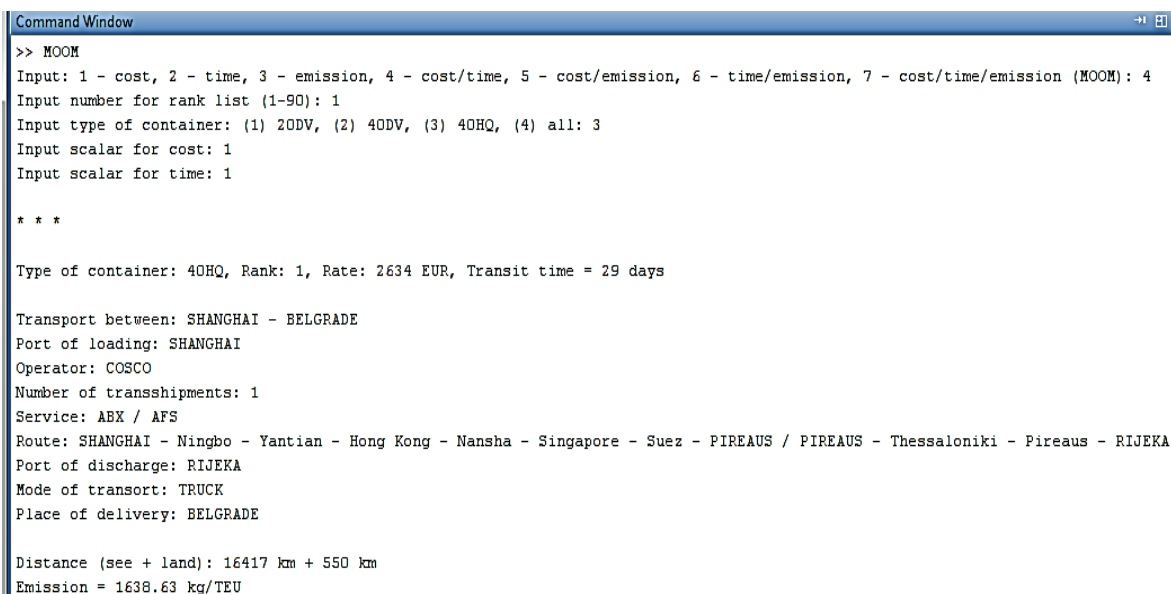
Слика 18. Резултати примене модела – минимизација емисије угљен-диоксида



Слика 19. АЕЗ сервис

## 5.5. Сценарио 4

Резултати који посматрају два критеријума истовремено (транспортни трошкови и транзитно време) приказани су на слици 20. У првој итерацији изабран је приказ најповољнијег решења, у другој да се изврши приказ по контејнерима типа 40 HQ, док је извршена равномерна пондерација критеријума. Као најповољније решење издвојен је бродар COSCO. Користећи сервис ABX до Пиреја, а затим AFS од Пиреја до Ријеке као и камионски вид транспорта од Ријеке до Београда добијено је најповољније транзитно време 29 дана. Транспортни трошак је 2634 €.



```
Command Window
>> MOOM
Input: 1 - cost, 2 - time, 3 - emission, 4 - cost/time, 5 - cost/emission, 6 - time/emission, 7 - cost/time/emission (MOOM): 4
Input number for rank list (1-90): 1
Input type of container: (1) 2DDV, (2) 4DDV, (3) 40HQ, (4) all: 3
Input scalar for cost: 1
Input scalar for time: 1

* * *

Type of container: 40HQ, Rank: 1, Rate: 2634 EUR, Transit time = 29 days

Transport between: SHANGHAI - BELGRADE
Port of loading: SHANGHAI
Operator: COSCO
Number of transshipments: 1
Service: ABX / AFS
Route: SHANGHAI - Ningbo - Yantian - Hong Kong - Nansha - Singapore - Suez - PIREAUS / PIREAUS - Thessaloniki - Pireaus - RIJEKA
Port of discharge: RIJEKA
Mode of transport: TRUCK
Place of delivery: BELGRADE

Distance (see + land): 16417 km + 550 km
Emission = 1638.63 kg/TEU
```

Слика 20. Резултати примене модела – минимизација транспортних трошкова и транзитног времена

## 5.6. Сценарио 5

Резултати који посматрају два критеријума истовремено (транспортни трошкови и емисија угљен-диоксида) приказани су на слици 21. У првој итерацији извршена равномерна пондерација критеријума, док је у другој изабран је приказ најповољнијег решења. Као најповољније решење издвојен је бродар СМА - CGM. Добијена транспортна рута Шангај-Констанца-Београд даје и приказ захтеваних излазних података: 1590 € и 1405,91 kgCO<sub>2</sub>/TEU.

```
Command Window
>> MOOM
Input: 1 - cost, 2 - time, 3 - emission, 4 - cost/time, 5 - cost/emission, 6 - time/emission, 7 - cost/time/emission (MOOM): 5
Input scalar for cost: 1
Input scalar for emission: 1
Input number for rank list (1-270): 1

* * *

Type of container: TEU, Rank: 1, Rate: 1598 EUR

Transport between: SHANGHAI - BELGRADE
Port of loading: SHANGHAI
Operator: CMA-CGM
Number of transshipments: 1
Service: BEX / FEMEX1
Route: SHANGHAI - Ningbo - Chiwan - Yantian - Tanjung Pelepas - Izmit - Istanbul Ambarili - CONSTANZA
Port of discharge: CONSTANZA
Mode of transport: RIVER
Place of delivery: BELGRADE

Transit time = 41 days
Distance (see + land): 15847 km + 890 km
Emission = 1405.91 kg CO2/TEU
```

**Слика 21.** Резултати примене модела – минимизација емисије угљен-диоксида и транспортних трошкова

## 5.7. Сценарио 6

Резултати који посматрају два критеријума истовремено (транзитно време и емисија угљен-диоксида) приказани су на слици 22. У првој итерацији извршена равномерна пондерација критеријума, док је у другој изабран је приказ најповољнијег решења. Као најповољније решење издвојен је бродар EVERGREEN. Добијена транспортна рута Шангај-Пиреј-Солун-Београд (рута GTS, од Пиреја до Солуна приказана је на слици 23) даје и приказ захтеваних излазних података: 29 дана и 1596,7 kgCO<sub>2</sub>/TEU.

```

Command Window
>> MOOM
Input: 1 - cost, 2 - time, 3 - emission, 4 - cost/time, 5 - cost/emission, 6 - time/emission, 7 - cost/time/emission (MOOM): 6
Input scalar for time: 1
Input scalar for emission: 1
Input number for rank list (1-270): 1

* * *

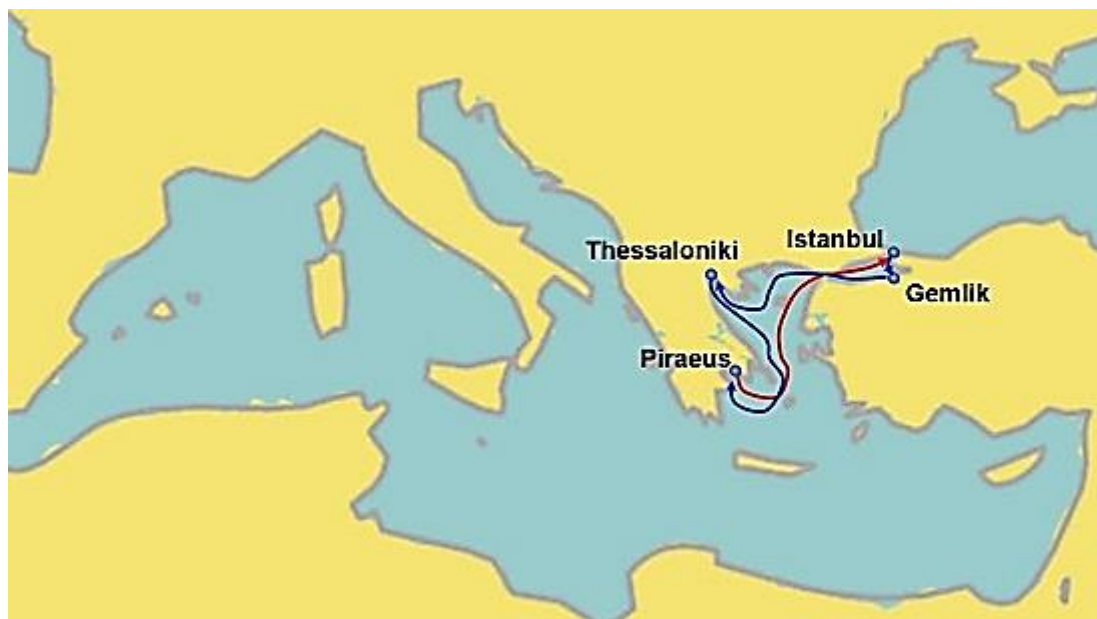
Type of container: TEU, Rank: 1, Rate: 2118 EUR

Transport between: SHANGHAI - BELGRADE
Port of loading: SHANGHAI
Operator: EVERGREEN
Number of transshipments: 1
Service: UAM / GTS
Route: SHANGHAI - Ningbo - Yantian - Hong Kong - Nansha - Singapore - Suez - PIREAUS / PIREAUS - THESSALONIKI
Port of discharge: THESSALONIKI
Mode of transport: TRUCK
Place of delivery: BELGRADE

Transit time = 29 days
Distance (see + land): 15356 km + 650 km
Emission = 1596.7 kg CO2/TEU

```

Слика 22. Резултати примене модела – минимизација емисије угљен-диоксида и транзитног времена



Слика 23. GTS сервис

## 5.8. Сценарио 7

Резултати који посматрају сва три критеријума истовремено (транспортни трошкови, транзитно време и емисија угљен-диоксида) приказани су на слици 24. У првој итерацији извршена равномерна пондерација критеријума, док је у другој изабран је приказ најповољнијег решења. Као најповољније решење издвојен је бродар COSCO. Користећи бродске сервисе ABX/AFS преко Пиреја контејнер се прекрцава у Риједи

одкле се поменути контејнер утовара на воз. Добијена транспортна рута Шангај-Пиреј-Ријека-Београд даје и приказ захтеваних излазних података: 1657 €, 31 дан и 1515,56 kgCO<sub>2</sub>/TEU.

```
Command Window
>> MOOM
Input: 1 - cost, 2 - time, 3 - emission, 4 - cost/time, 5 - cost/emission, 6 - time/emission, 7 - cost/time/emission (MOOM): 7
Input scalar for cost: 1
Input scalar for time: 1
Input scalar for emission: 1
Input number for rank list (1-270): 1

* * *

Type of container: TEU, Rank: 1, Rate: 1657 EUR

Transport between: SHANGHAI - BELGRADE
Port of loading: SHANGHAI
Operator: COSCO
Number of transshipments: 1
Service: ABX / AFS
Route: SHANGHAI - Ningbo - Yantian - Hong Kong - Nansha - Singapore - Suez - PIREAUS / PIREAUS - Thessaloniki - Piraeus - RIJEKA
Port of discharge: RIJEKA
Mode of transport: RAIL
Place of delivery: BELGRADE

Transit time = 31 days
Distance (see + land): 16417 km + 666 km
Emission = 1515.56 kg CO2/TEU
```

**Слика 24.** Резултати примене модела – минимизација емисије угљен-диоксида, транспортних трошкова и транзитног времена

## 5.9. Сценарио 8

Резултати добијени методом динамичког програмирања приказују једно најповољније решење за сваки од разматраних критеријума посебно. Ови добијени резултати су потпуно исти као и резултати добијени применом математичког модела (MODM) када математички модел посматра важност само једног од разматраних критеријума занемарујући друга два. За разлику од методе динамичког програмирања новоразвијени математички модел може давати субјективност одлуке (пондерацијом критеријума одлуке) у сваком тренутку, у зависности од жеље корисника (шта је у посматраном тренутку најважније). Такође, поред једног најповољнијег решења може се добити приказ свих могућих решења и извршити њихово рангирање и селекција.

У наставку је дат приказ решавања сваког проблема приликом тражења најповољнијег решења методом динамичког програмирања. Сваки од проблема је приказан математичким записом у поглављу (4.2.). Такође, посебно је сваки проблем минимизације (транспортних трошкова, транзитног времена, емисије угљен-диоксида)



сведен на више потпроблема чијим се решавањем долази до решења посматраног проблема. Свако решење потпроблема записано је у одговарајућим табелама.

Минимизација транспортних трошкова ( $C_{min}^t$ ):

$$C_{ij}^t = CFL_{ij}^t + CG_{ij}^t$$

У табели 29 дат је приказ најнижих транспортних трошкова (сума транспортних трошкова на мору ( $CFL_{ij}^t$ ) и лучких трошкова сваке од посматраних лука истовара ( $CG_{ij}^t$ )) за сваки од посматраних "t", типова контејнера ("i"-ти оператер, "j"-та лука истовара).

**Табела 29.** Минимални транспортни трошкови ( $CFL_{ij}^t + CG_{ij}^t$ )

ТИП КОНТЕЈНЕРА / ЛУКА ИСТОВАРА	20 DV	40 DV	40 HQ
КОНСТАНЦА	1183 \$ + 250 € (MSC)	2233 \$ + 250 € (CMA-CGM)	2250 \$ + 250 € (CMA-CGM)
СОЛУН	1175 \$ + 240 € (MAERSK)	2350 \$ + 340 € (MAERSK)	2350 \$ + 340 € (MAERSK)
БАР	1267 \$ + 280 € (MSC)	2517 \$ + 290 € (MSC)	2567 \$ + 290 € (MSC)
РИЈЕКА	1133 \$ + 227 € (MSC)	2250 \$ + 227 € (MSC)	2300 \$ + 227 € (MSC)
КОПАР	1133 \$ + 227 € (MSC)	2250 \$ + 227 € (MSC)	2300 \$ + 227 € (MSC)

У табели 30 дат је приказ најнижих транспортних трошкова (трошкова од сваке луке истовара до крајње дестинације ( $CSL_{jk}^t$ )) за сваки од посматраних "t", типова контејнера ("k"-ти вид превоза, "j"-та лука истовара).

**Табела 30.** Минимални транспортни трошкови ( $CSL_{jk}^t$ )

ТИП КОНТЕЈНЕРА / ЛУКА ИСТОВАРА	20 DV	40 DV	40 HQ
КОНСТАНЦА	470 € (БАРЖА)	570 € (БАРЖА)	570 € (БАРЖА)
СОЛУН	800 € (ЖЕЛЕЗНИЦА)	930 € (КАМИОН)	930 € (КАМИОН)
БАР	590 € (КАМИОН)	590 € (КАМИОН)	590 € (КАМИОН)
РИЈЕКА	575 € (ЖЕЛЕЗНИЦА)	660 € (ЖЕЛЕЗНИЦА)	660 € (ЖЕЛЕЗНИЦА)
КОПАР	740 € (ЖЕЛЕЗНИЦА)	790 € (КАМИОН)	790 € (КАМИОН)

Дакле, решење сваког од наведених потпроблема доприноси и коначном решењу приликом тражења најповољнијег решења у погледу минимизације транспортних трошкова:

$$C_{min}^t = \min_{i \in \{1, \dots, n_i\}; j \in \{1, \dots, n_j\}} [C_{ij}^t + \min_{k \in \{1, \dots, n_k\}} CSL_{jk}^t]$$

У наставку је приказан математички код, а коначно решење приказано је на слици 25.

```

for i=1:6
    for j=1:5
        for k=1:3

            [sv1, sv]=min(vreme_se(i,j,:));

        for w=1:3
            sv2=usputneluke_se(i,j,w);
            if sv2~=Inf
                tc=cene_se(i,j,1) + cene_eb(k,j,1);
                tv=vreme_se(i,j,w) + vreme_eb(k,j);
                tz=servisidis(sv2)*zag_m + dist_eb(k,j)*zag(k);
                r((i-1)*15+(j-1)*3+k,:,w)=[i,j,k,tc,tv,tz,0];
            else
                r((i-1)*15+(j-1)*3+k,:,w)=[i,j,k,Inf,Inf,Inf,Inf];
            end
        end

        tv=vreme_se(i,j,sv) + vreme_eb(k,j);

        for t=1:3
            tc=cene_se(i,j,t) + cene_eb(k,j,t);

            rc((i-1)*15+(j-1)*3+k,:,t)=[i,j,k,tc,tv,usputneluke_se(i,j,sv),0];
        end
    end
end

```

```

        if tc<minc(t)
            minc(t)=tc;
            mc(1,t)=i;
            mc(2,t)=j;
            mc(3,t)=k;
            mc(4,t)=tv;
            mc(5,t)=usputneluke_se(i,j,sv);
        end
    end

    if tv<minv
        minv=tv;
        for t=1:3
            mv(1,t)=i;
            mv(2,t)=j;
            mv(3,t)=k;
            mv(4,t)=r((i-1)*15+(j-1)*3+k,4,t);
            mv(5,t)=usputneluke_se(i,j,sv);
        end
    end
end

```

The screenshot shows the MATLAB Command Window with the following output:

```

New to MATLAB? See resources for Getting Started.

>> DinP
Input: 1 - cost, 2 - time, 3 - emission (Dynamic Prog.): 1
Input type of container: (1) 20DV, (2) 40DV, (3) 40HQ, (4) all: 1

* * *

Type of container: 20DV, Min Cost: 1594 EUR

Transport between: SHANGHAI - BELGRADE
Port of loading: SHANGHAI
Operator: MSC
Number of transshipments: 1
Service: TIGER / BLACK SEA
Route: SHANGHAI - Ningbo - Hong Kong - Chiwan - Singapore - Jeddah - Beirut - PIRAEUS / PIRAEUS - CONSTANZA
Port of discharge: CONSTANZA
Mode of transport: RIVER
Place of delivery: BELGRADE

>> DinP
Input: 1 - cost, 2 - time, 3 - emission (Dynamic Prog.): 1
Input type of container: (1) 20DV, (2) 40DV, (3) 40HQ, (4) all: 2

* * *

Type of container: 40DV, Min Cost: 2470 EUR

Transport between: SHANGHAI - BELGRADE
Port of loading: SHANGHAI
Operator: CMA-CGM
Number of transshipments: 1
Service: BEX / FEMEX1
Route: SHANGHAI - Ningbo - Chiwan - Yantian - Tanjung Pelepas - Izmit - Istanbul Ambarili - CONSTANZA
Port of discharge: CONSTANZA
Mode of transport: RIVER
Place of delivery: BELGRADE

```

Слика 25. Резултати примене методе динамичког програмирања – минимизација транспортних трошкова

Минимизација транзитног времена ( $T_{min}$ ):

$$T_{ij}^s = TFL_{ij}^s$$

У табели 31 дат је приказ најкраћих транзитних времена са номинованим оператерима, по сваком од различитих типова контејнера, на посматраној транспортној рути од луке утовара до дефинисаних лука истовара ( $TFL_{ij}^s$ ) за сваки од посматраних "s", типова бродских сервиса ("i"-ти оператер, "j"-та лука истовара). Као решење потпроблема издвојен је је оператер "COSCO", лука истовара "СОЛУН", са укупним транзитним временом од 26 дана.

**Табела 31.** Минимално транзитно време ( $TFL_{ij}^s$ )

ТИП КОНТЕЈНЕРА / ЛУКА ИСТОВАРА	20 DV	40 DV	40 HQ
<b>КОНСТАНЦА</b>	29 дана (СМА-CGM)	29 дана (СМА-CGM)	29 дана (СМА-CGM)
<b>СОЛУН</b>	26 дана (COSCO)	26 дана (COSCO)	26 дана (COSCO)
<b>БАР</b>	33 дана (MSC)	33 дана (MSC)	33 дана (MSC)
<b>РИЈЕКА</b>	27 дана (COSCO)	27 дана (COSCO)	27 дана (COSCO)
<b>КОПАР</b>	28 дана (COSCO)	28 дана (COSCO)	28 дана (COSCO)

У табели 32 дат је приказ минималних транзитних времена (од сваке луке истовара до крајње дестинације ( $TSL_{jk}$ ) за сваки од посматраних "t", типова контејнера ("к"-ти вид превоза, "j"-та лука истовара). Као решење потпроблема издвојен је "КАМИОН" као превозно средство са најкраћим транзитним временом од 2 дана.

**Табела 32.** Минимално транзитно време ( $TSL_{jk}$ )

ТИП КОНТЕЈНЕРА / ЛУКА ИСТОВАРА	20 DV	40 DV	40 HQ
<b>КОНСТАНЦА</b>	3 дана (КАМИОН)	3 дана (КАМИОН)	3 дана (КАМИОН)
<b>СОЛУН</b>	2 дана (КАМИОН)	2 дана (КАМИОН)	2 дана (КАМИОН)
<b>БАР</b>	2 дана (КАМИОН)	2 дана (КАМИОН)	2 дана (КАМИОН)
<b>РИЈЕКА</b>	2 дана (КАМИОН)	2 дана (КАМИОН)	2 дана (КАМИОН)
<b>КОПАР</b>	2 дана (КАМИОН)	2 дана (КАМИОН)	2 дана (КАМИОН)

Анализом посматраних потпроблема у оквиру минимизације транзитног времена у наставку добијено је коначно решење приказано на слици 26.

$$T_{min} = \min_{i \in \{1, \dots, n_i\}; j \in \{1, \dots, n_j\}; s \in \{1, \dots, n_s\}} [T_{ij}^S + \min_{k \in \{1, \dots, n_k\}} TSL_{jk}]$$

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.

Input: 1 - cost, 2 - time, 3 - emission : 2
When the time is equal sort by rate per container type: (1) 20DV, (2) 40DV, (3) 40HQ: 1

* * *

Rank: 1, Transit time: 28 days

Transport between: SHANGHAI - BELGRADE
Port of loading: SHANGHAI
Operator: COSCO
Number of transshipments: 1
Service: CESS / AFS
Route: SHANGHAI - Ningbo - Shekou - Singapore - Port Kelang - PIREAUS / PIREAUS - THESSALONIKI
Port of discharge: THESSALONIKI
Mode of transport: TRUCK
Place of delivery: BELGRADE

Rate 20DV: 2189 EUR
Rate 40DV: 3216 EUR
Rate 40HQ: 3253 EUR
Distance: 16856 km

Elapsed time is 42.164461 seconds.
fx >>

```

**Слика 26.** Резултати примене методе динамичког програмирања – минимизација транзитног времена

Минимизација емисије угљен-диоксида ( $E_{min}$ ):

$$E_{ij}^S = DFL_{ij}^S * EM$$

У табели 33 и 34 редом се памте вредности решења сваког од потпроблема минимизације емисије угљен-диоксида, док је као коначно решење приказано на слици 27. Табела 33 даје приказ изабраних оператера са најмањом емисијом угљен-диоксида за сваки од различитих типова контејнера "t" и различитих типова бродских сервиса "s", на посматраној транспортној рути од луке утовара до дефинисаних лука истовара ( $DFL_{ij}^S$ ), ("i"-ти оператер, "j"-та лука истовара). Табела 34 приказује минималну емисију угљен-диоксида од сваке луке истовара до крајње дестинације ( $DSL_{jk} * EM_k$ ), узимајући у обзир различите вредности емисионих фактора, за сваки од посматраних "t", типова контејнера, ("k"-ти вид превоза, "j"-та лука истовара).

**Табела 33.** Минимална емисија угљен-диоксида ( $DFL_{ij}^S * EM$ )

ТИП КОНТЕЈНЕРА / ЛУКА ИСТОВАРА	20 DV	40 DV	40 HQ
КОНСТАНЦА	MAERSK	MAERSK	MAERSK
СОЛУН	COSCO	COSCO	COSCO
БАР	CMA-CGM	CMA-CGM	CMA-CGM
РИЈЕКА	EVERGREEN	EVERGREEN	EVERGREEN
КОПАР	COSCO	COSCO	COSCO

**Табела 34.** Минимална емисија угљен-диоксида ( $DSL_{jk} * EM_k$ )

ТИП КОНТЕЈНЕРА / ЛУКА ИСТОВАРА	20 DV	40 DV	40 HQ
КОНСТАНЦА	БАРЖА	БАРЖА	БАРЖА
СОЛУН	КАМИОН	КАМИОН	КАМИОН
БАР	КАМИОН	КАМИОН	КАМИОН
РИЈЕКА	КАМИОН	КАМИОН	КАМИОН
КОПАР	КАМИОН	КАМИОН	КАМИОН

Анализом посматраних потпроблема у оквиру минимизације угљен-диоксида у наставку добијено је коначно решење приказано у табели 35.

$$E_{min} = \min_{i \in \{1, \dots, n_i\}; j \in \{1, \dots, n_j\}; s \in \{1, \dots, n_s\}} [E_{ij}^S + \min_{k \in \{1, \dots, n_k\}} (DSL_{jk} * EM_k)]$$

**Табела 35.** Минимална емисија угљен-диоксида применом методе динамичког програмирања

Лука утовара	Shanghai
Бродар	MAERSK LINE
Број прекрцаја	0
Сервис	AE3
Рута	Shanghai-Ningbo-Chiwan-Yantian-Tanjung Pelepas-Izmir-Istanbul Ambarili-Constanza
Лука истовара	Констанца
Превозно средство	Баржа
Место допреме	Београд
Минимална емисија угљен-диоксида	1405.91 kg/CO <sub>2</sub> /TEU
Цена 20 DV	1681 €
Транзитно време	41 дан
Растојање	16737 km

## 6. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА И ПРЕДЛОГ ДАЉИХ ИСТРАЖИВАЊА

Контејнерска револуција резултирала је великим променама у међународној трговини и један је од најважнијих доприноса глобализацији светске економије. Предности контејнерског транспорта препознате су још 80-их година прошлог века, а односе се на целу привреду, па чак и друштво у целини. Повећава се број привредних субјеката укључених у процес, побољшана је координација и управљање транспортом, омогућено је остваривање учинака економије обима у модалитету превоза „од врата до врата“, а све је то довело до смањења трошкова и повећања добити. Да би контејнери остали фактор који позитивно утиче на развој привреде, мора се константно вршити ревизија стандарда и норми, као и тежити имплементацији нових технологија на начин на који ће се унапредити ефикасност целокупног логистичког ланца. Данас, контејнерски транспорт у оквиру светске глобализације привреде има веома важну улогу у превозу робе са константном тенденцијом раста.

Контејнерски транспорт као програмиран ланац транспорта проузрокован тачним временом хармонизује превоз за све учеснике у ланцу. Одступања од распореда доводи до нередовних испорука - кашњења и уских грла. Транспортни трошкови и транзитно време представљају два најчешће разматрана проблема приликом транспорта контејнера, када су у питању сами процеси планирања контејнерских робних токова. Емисија угљен-диоксида као једног од гасова који највише утиче на ефекат стаклене баште и промену климе, један од највећих изазова са којима се суочава наша генерација, приликом планирања ланца снабдевања више се не може игнорисати: с једне стране, јер компаније имају моралну обавезу да послују на одржив начин, а са друге стране, јер купци постају све више и више свесни огромног утицаја на животну средину.

Мали број истраживача је посматрао контејнерски транспорт истовремено узимајући у обзир више критеријума. У већини случајева су развијени модели за одлучивање који се заснивају на минимизацији једног параметра, најчешће трошку превоза контејнера и ограниченом скупу разматраних варијабли. Само неколико модела интегриса и време транспорта као други одлучујући параметар, али без проширивања скупа варијабли. Због тога се у оквиру ове докторске дисертације дефинише математички модел који омогућава доношење одлуке на основу више усвојених

критеријума: минимално транзитно време, најнижи транспортни трошкови и минимална емисија угљен диоксида приликом транспорта контејнера, узимајући истовремено у обзир поморску и копнену транспортну мрежу, већи број расположивих оператера и различите типове контејнера. Приликом доношења одлуке врши се анализа свих могућих решења и њихово рангирање на основу тежинских критеријума које дефинише сам корисник чиме се омогућава утицај емпиријског приступа у доношењу одлуке. Сам модел и приступ тестирани су на примеру транспорта контејнера између Блиског истока и Србије. У раду су дефинисане три хипотезе. На основу верификације дефинисаног модела и резултата добијених тестирањем динамичког модела, те хипотезе се могу потврдити.

Резултати добијени методом динамичког програмирања приказују једно најповољније решење за сваки од разматраних критеријума посебно. Тако добијени резултати су потпуно исти као и резултати добијени применом математичког модела (MODM) када математички модел посматра важност само једног од разматраних критеријума занемарујући друга два. Новоразвијени математички модел за разлику од методе динамичког програмирања најбоље решење бира из спектра свих потенцијалних, методом рангирања.

Дефинисани математички модел даје научни допринос кроз: развој еволуционог алгорита базираног на развоју јединственог математичког модела за вишекритеријумско доношење одлуке; генерисање математичког модела који пружа могућност одабира пондера у зависности од важности интересног критеријума; генерисање математичког модела који пружа могућност рангирања сви могућих решења; генерисање математичког модела који омогућава истовремено посматрање више разнородних критеријума са могућношћу укључивања нових критеријума; адекватност примене математичког модела на различите чворове у транспортном систему са могућношћу укључивања већег броја чворова.

Дефинисани математички модел је имплементиран као посебан програмски пакет у компанији Агент Плус у процесу унапређења пословања кроз континуално праћење непрекидних промена на тржишту, чиме је верификована и његова примена у пракси.

У даљим истраживањима потребно је одредити границе функционалности самог модела, првенствено са аспекта комплексности проблема на које се може применити (обим посматраног транспортног система).



## 7. ЛІТЕРАТУРА

1. Arnone, M., Mancini, S., Rosa, A.: "Formulating a Mathematical Model for Container Assignment Optimization on an Intermodal Network," *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111: 1063-1072, 2014.
2. Bandeira, D. L., Becker, J. L., Borenstein, D.: "A DSS for Integrated Distribution of Empty and Full Containers," *Decision Support Systems*, 47 (4):383-397, 2009.
3. Bell, M. G. H., Liu, X., Angeloudis, P., Fonzone, A., Hosseinloo, S. H.: "A frequency-based maritime container assignment model", *Transportation Research Part B*, 45: 1152-1161, 2011.
4. Caris, A., Janssens, G. K.: "A Local Search Heuristic for the Pre- and End-haulage of Intermodal Container Terminals," *Computers & Operations Research*, 36(10): 2763-2772, 2009.
5. Chang, H., Jula, H., Chassiakos, A., Ioannou, P.: "A Heuristic Solution for the Empty Container Substitution Problem," *Transportation Research Part E*, 44(2): 203-216, 2008.
6. Cheang, B., Lim, A.: "A Network Flow Based Method for the Distribution of Empty Containers," *International Journal of Computer Applications in Technology*, 22 (4): 198-204, 2005.
7. Chen, G., Yang, Z.: "Optimizing time windows for managing export container arrivals at Chinese container terminals," *Maritime Economics & Logistics*, 12(1):111-126, 2010.
8. Choong, S. T., Cole, M. H., Kutanoglu, E.: "Empty Container Management for Intermodal Transportation Networks," *Transportation Research Part E*, 38(6): 423-438, 2002.
9. Coslovich, L., Pesenti, R., Ukovich, W.: "Minimizing Fleet Operating Costs for A Container Transportation Company," *European Journal of Operational Research*, 171 (3):776-786, 2006.
10. Crainic, T. G., Gendreau, M., Dejax, P.: "Dynamic and Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers," *Operations Research*, 41(1): 102-126, 1993a.
11. Crainic, T. G., Gendreau, M., Soriano, P., Toulouse, M.: "A Tabu Search Procedure for Multicommodity Location / Allocation with Balancing Requirements," *Annals of Operations Research*, 41(4): 359-383, 1993b.
12. Cullinane, K., Ping, J., Wang, T.-F.: "A Multi-objective Programming Approach to the Optimization of China's International Container Transport Network," *International Journal of Transport Economics*, 29 (2): 181-199, 2002.
13. Dang, Q.-V., Yun, W.-Y., Kopfer, H.: "Positioning Empty Containers Under Dependent Demand Process," *Computers & Industrial Engineering*, 62(3):708-715, 2012.
14. Davidson, E. T., Leachman, R. C.: "Optimizing a Multi-strategy Port and Modal Allocation of Containerized Imports From Asia to the United States," *Journal of Marketing Channels*, 19(2): 120-140, 2012.
15. Deidda, L., Francesco, M. D., Olivo, A., Zuddas, P.: "Implementing the Street-turn Strategy by an Optimization Model," *Maritime Policy & Management*, 35(5):503-516, 2008.
16. Erera, A. L., Morales, J. C., Savelsbergh, M.: "Global Intermodal Tank Container Management for the Chemical Industry," *Transportation Research Part E*, 41(6): 551-566, 2005.
17. Fan, L., Wilson, W. W., Tolliver, D.: "Optimal Network Flows for Containerized Imports to the United States," *Transportation Research Part E*, 46(5):735-749, 2010.
18. Feng, C.-M., Chang, C.-H.: "Empty Container Reposition Planning for Intra-Asia Liner Shipping," *Maritime Policy & Management*, 35(5):469-489, 2008.

19. Festa P.: Shortest Path Algorithms: *Handbook of Optimization in Telecommunications*, 185-210, 2006.
20. Francesco, M. D., Crainic, T. G., Zuddas, P.: "The Effect of Multi-scenario Policies on Empty Container Repositioning," *Transportation Research Part E*, 45(5): 758-770, 2009.
21. Francesetti, D.C.: "Italian versus Northern Range port competitiveness: A transportation cost analysis in Chinese trade," *European Transport \ TrasportiEuropei*, 30: 37-53, 2005.
22. Gallo, G., Pallottino, S.: Shortest path methods: A unifying approach, *Mathematical Programming Studies*, 26: 38-64, 1986.
23. Gass, S.I.: *Secision-Aiding Models: Validation, Assessment and Related Issues for Policy Analysis*. Operat. Res., 31(4): 603-631, 1983.
24. Han, M. M., Guolong, L., Bin, Y.: A Linear Programming Model For Short Sea Shipping And Multimodal Inland Transportation In Myanmar, *Report and Opinion*, 3(1): 37-43, 2011.
25. Hillier, F.S., Lieberman, G.J.: Introduction to operations research. New York: McGraw-Hill, 2005.
26. Hwang C. L, Masud, A. S. M.: "Multiple objective decision making, methods and applications", Springer-Verlag, ISBN 978-0-387-09111-2. Retrieved 29 May 2012, 1979.
27. Iannone, F., Thore, S.: "An Economic Logistics Model for the Multimodal Inland Distribution of Maritime Containers," *International Journal of Transport Economics*, 37(3):281-326, 2010.
28. Iannone, F.: "A Model Optimizing the Port-hinterland Logistics of Containers: The Case of the Campania Region in Southern Italy," *Maritime Economics & Logistics*, 14(1): 33-72, 2012.
29. Imai, A., Nishimura, E., Current, J.: "A Lagrangian Relaxation-Based Heuristic for the Vehicle Routing with Full Container Load," *European Journal of Operational Research*, 176(1): 87-105, 2007.
30. Imai, A., Shintani, K., Papadimitriou, S.: "Multi-port vs. Hub-and-Spoke Port Calls by Containerships," *Transportation Research Part E*, 45(5): 740-757, 2009.
31. Infante, D., Paletta, G., Vocaturo, F.: "A Ship-truck Intermodal Transportation Problem," *Maritime economics & logistics*, 11(3):247-259, 2009.
32. Jansen, B., Swinkels, P. C. J., Teeuwen, G. J. A., Fluiter, B. V. D., Fleuren, H. A.: "Operational Planning of A Large-scale Multi-modal Transportation System," *European Journal of Operational Research*, 156(1): 41-53, 2004.
33. Jula, H., Dessouky, M., Ioannou, P., Chassiakos, A.: "Container Movement by Trucks in Metropolitan Networks: Modeling and Optimization," *Transportation Research Part E*, 41(3):235-59, 2005.
34. Jula, H., Chassiakos, A., Ioannou, P.: "Port Dynamic Empty Container Reuse," *Transportation Research Part E*, 42(1): 43-60, 2006.
35. Jula, P., Leachman, R. C.: "Long- and Short-Run Supply-chain Optimization Models for the Allocation and Congestion Management of Containerized Imports from Asia to the United States," *Transportation Research Part E*, 47(5): 593-608, 2011a.
36. Jula, P., Leachman, R. C.: "A Supply-chain Optimization Model of the Allocation of Containerized Imports from Asia to the United States," *Transportation Research Part E*, 47(5): 609-622, 2011b.
37. Karimi, I. A., Sharafali, M., Mahalingam, H.: "Scheduling Tank Container Movements for Chemical Logistics," *Aiche Journal*, 51(1): 178-197, 2005.
38. Kim, H.-J., Chang, Y.-T., T.-W.Lee, P., Shin, S.-H., Kim, M.-J.: "Optimizing the Transportation of International Container Cargoes in Korea," *Maritime Policy & Management*, 35(1): 103-122, 2008.

39. Kim, N. S., Janic, M., Bert, V. W.: Trade-Off Between Carbon Dioxide Emissions and Logistics Costs Based on Multi-objective Optimization, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2139: 107-116, 2009.
40. Lai, K. K., Lam, K., Chan, W. K.: "Shipping Container Logistics and Allocation," *Journal of the Operational Research Society*, 46(6): 687-697, 1995.
41. Lam, J. S. L., Gu, Y.: "Port Hinterland Intermodal Container Flow Optimisation with Green Concerns: A Literature Review and Research Agenda," Proceedings of International forum on Shipping, Ports and Airports: Trade, supply chain activities and transports: Contemporary logistics and Maritime issues, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, 167-179, 2013.
42. Leachman, R. C.: "Port and Modal Allocation of Waterborne Containerized Imports from Asia to the United States," *Transportation Research Part E*, 44(2): 313-331, 2008.
43. Lee, P. T. W., Yang, Z.: "Multi-Criteria Decision Making in Maritime Studies and Logistics," *Springer*, 1-355, 2017.
44. Liao, C.-H., Tseng, P.-H., Lu, C.-S.: "Comparing Carbon Dioxide Emissions of Trucking and Intermodal Container Transport in Taiwan," *Transportation Research Part D*, 14(7): 493-496, 2009.
45. Luque, M., Ruiz, F., Miettinen, K.: "Global formulation for interactive multiobjective optimization," *OR Spectrum*. 33(1): 27-48, 2008.
46. Macharis, C., Bernardini, A.: "Reviewing the use of Multi-Criteria Decision Analysis for the evaluation of transport projects: Time for a multi-actor approach," *Transport Policy*, 37: 177-186, 2015.
47. Mansouri, A. S., Lee, H., Aluko, O.: "Multi-objective decision support to enhance environmental sustainability in maritime shipping: A review and future directions," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 78: 3-18, 2015.
48. Meng, Q., Wang, X.: "Intermodal Hub-and-spoke Network Design: Incorporating Multiple Stakeholders and Multi-type Containers," *Transportation Research Part B*, 45(4): 724-742, 2011.
49. Miettinen, K.: Nonlinear Multiobjective Optimization, *Springer*. 299, 1999.
50. Miettinen, K., Mäkelä, M. M.: "Synchronous approach in interactive multiobjective optimization," *European Journal of Operational Research*. 170(3): 909-922, 2006.
51. Miettinen, K., Ruiz, F., Wierzbicki, A. P.: "Introduction to Multiobjective Optimization: Interactive Approaches," *Multiobjective Optimization: Lecture Notes in Computer Science*. 5252: 27-57, 2008.
52. Miller, T., Wise, D., Clair, L.: "Transport Network Design and Mode Choice Modeling for Automobile Distribution: A Case Study," *Location Science*, 4(1-2): 37-48, 1996.
53. Min, H.: "International Intermodal Choices Via Chance-constrained Goal Programming," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 25(6): 351-362, 1991.
54. Montori, A., Correa, S. I. V., Montaresi, F., Pico, A.: "WiderMoS, a new way to make better business by using the EU Core Network Corridors and Smart Logistics," Conference: Maritime Transport 2014, Barcelona, 2014.
55. Mostert, M., Limbourg, S.: "A bi-objective model for intermodal transport," Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain. 2014.
56. Newman, A. M., Yano, C. A.: "Scheduling Direct and Indirect trains and Containers in An Intermodal Setting," *Transportation Science*, 34(3): 256-270, 2000.
57. Николић, И., Боровић, С.: Вишекритеријумска оптимизација, Београд, 3-60, 1996.
58. Novikova, K. K. A., Jing, L., Kennedy, R. O.: "A Multi-objective Optimization of Sino-Kazakh Container Flow through Dostyk-Alashankou," *International Journal of Business: Humanities and Technology*, 3(7): 37-47, 2013.

59. Olivo, A., Zuddas, P., Francesco, M. D., Manca, A.: "An Operational Model for Empty Container Management," *Maritime Economics & Logistics*, 7(3): 199-222, 2005.
60. Оприцовић С.: "Вишекритеријумска оптимизација система у грађевинарству", Грађевински факултет, Београд", 302, 1998.
61. Parola, F., Sciomachen, A.: "Intermodal Container Flows in A Port System Network: Analysis of Possible Growths Via Simulation Models," *International Journal of Production Economics*, 97(1): 75-88, 2005.
62. Rahimi, M., Asef-Vaziri, A., Harrison, R.: "An Inland Port Location-Allocation Model for A Regional Intermodal Goods Movement System," *Maritime Economics & Logistics*, 10(4): 362-379, 2008.
63. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Стакић, Ђ.: "Contribution to Optimal Container Flow Routing between Far East and Serbia through selected Adriatic Ports", Proceedings of the 5th International Conference Transport and Logistics „TIL 2014“, Ниш, Србија, 05-06. Јун 2014, 87-91, 2014.
64. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Стакић, Ђ., Махнич, Б.: "The Costs of Container Transport Flow Between Far East and Serbia Using Different Liner Shipping Services," *Logistics & Sustainable Transport*, 6(1): 34-40, 2015.
65. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Чокорило, О., Рајковић, С., Стакић, Ђ.: "Multi-Objective Container Transport Optimization on Intermodal Networks Based on Mathematical Model," Proceeding of the International Conference on Traffic and Transport Engineering, Београд, Србија, 27-28., Новембар 2014, 26-36, 2014.
66. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Драговић, Б., Петрановић, М.: "A bi-objective model in container transport," Proceedings of 14th International Conference "Research and development in mechanical industry" RaDMI, Топола, Србија, 18-21, Септембар 2014., 353-360, 2014.
67. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Драговић, Б., Петрановић, М.: "Minimising CO<sub>2</sub> Emissions in Container Transport Flows," Proceedings of 14th International Conference, RaDMI, Bar and Kotor, Montenegro, III, 17-18, Новембар 2014, 997-1005, 2014.
68. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Стакић, Ђ.: "Different approaches for minimizing transport costs in intermodal networks", Proceedings of the 13th International Logistics and Supply Chain Congress, Измир, Турска, 22-23. Октобар 2015, 160-167, 2014.
69. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Седмак, А., Кирин, С., Стакић, Ђ.: "Environmental protection in intermodal networks by minimizing CO<sub>2</sub> emission", Proceedings of the 7th International Scientific and Expert Conference of the International TEAM Society, Београд, Србија, 22-23. Октобар 2015, 274-279, 2015.
70. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Седмак, А., Кирин, С., Стакић, Ђ.: "An approach to determine optimal number of containers for cargo stacking in function of transportation cost," Proceedings of the 6th International Symposium on Industrial Engineering, Београд, Србија, 24-25. Септембар 2015, 300-304, 2015.
71. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Стакић, Ђ., Драговић, Б.: "Multi-criteria decision making methods in container transport", Proceedings of the XXI Triennial International conference on Material handling, constructions and logistics, Беч, Аустрија, 23-25. Септембар 2015, 289-294, 2015.
72. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Бојић, С., Стакић, Ђ.: "Role of Cargo Weight and Volume Minimizing Costs and CO<sub>2</sub> Emissions in Container Transport," *Commercial Transport: Springer*, 159-173, 2015.
73. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Стакић, Ђ.: "Application of Mathematical Model for Container Transport Flow of Goods: Trade routes from Far East to Serbia", *Technical Gazette*, 23(6): 1739-1746, 2016.

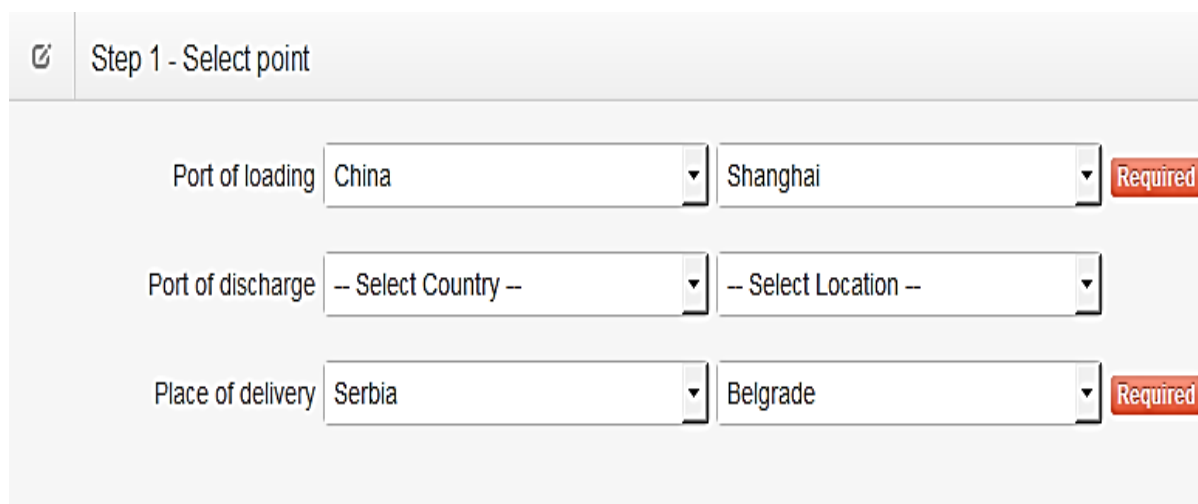
74. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Кирин, С., Драговић, Б.: “A Review of Multi-Objective Optimization of Container Flow Using Sea and Land Legs Together“, *FME Transactions*, 44(2): 204-211, 2016.
75. Рајковић, Р., Зрнић, Н., Стакић, Ђ.: “Developing a framework for minimizing logistics cost in LCL shipping“, Proceedings of the 13th International Conference on Logistics & Sustainable Transport, Цеље, Словенија, 16-18. Јун 2016.
76. Review of Maritime Transport: UNCTAD/RMT/2016, United National Publication Sales no. E.16.II.D.7, ISBN 978-92-1-112904-5, e-ISBN 978-92-1-058462-3, ISSN 0566-7682. 2016.
77. Републички завод за статистику: Спољнотрговинска робна размена Републике Србије, јан-дец 2015.
78. Sargent, R.G., *Verification and Validation of Simulation Models as Progress in Modelling and Simulation*, ed F.E. Cellier, Academic Press, London, 1981.
79. Sazdanović, S.: Elementi operacionih istraživanja, Naučna knjiga, Beograd. 1980.
80. Schellenberger, R.E.: Criteria for Assessing Model Validity for Managerial Purpose. *Decision Sci.* 5(4) 644-653, 1974.
81. Schneider, O.: “A Conceptual Model to Facilitate Sustainable, Multimodal Transportation Networks Between Thailand and Europe,” *BAWiSo-IBW*, 1-45, 2011.
82. Shen, W. S., Khoong, C. M.: “A DSS for Empty Container Distribution Planning,” *Decision Support Systems*, 15(1): 75-82, 1995.
83. Shintani, K., Konings, R., Imai, A.: “The Impact of Foldable Containers on Container Fleet Management Costs in Hinterland Transport,” *Transportation Research Part E*, 46(5): 750-763, 2010.
84. Стакић, Ђ., Рајковић, Р., Зрнић, Н., Тошић, Д.: “Evaluation of Pareto Optimal Solutions in Intermodal Networks,” Proceedings of the XLII International Symposium on Operation Research, Ивањица, Србија, 15-18. Септембар 2015, 319-323, 2015.
85. Suman, B., Kumar, P.: “A survey of simulated annealing as a tool for single and multiobjective optimization,” *Journal of the Operational Research Society*. 57(10): 1143–1160, 2006.
86. Sun, M., Wang, X., Chen, X., Cao, L.: “Study on Empty Container Repositioning Problem under Sea-rail Through Transport,” In Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, 2009 October, Changsha, China, IEEE Computer Society, 771-774, 2009.
87. Thill, J.-C., Lim, H.: “Intermodal Containerized Shipping in Foreign Trade and Regional Accessibility Advantages,” *Journal of Transport Geography*, 18(4): 530-547, 2010.
88. Tsung-Sheng, C.: “Best routes selection in international intermodal networks,” *Computers & Operations Research*, 35( 9): 2877–2891, 2008.
89. UNCTAD secretariat calculations : Based on Clarksons Research, Container Intelligence Monthly, various issues, and DrewryShipping Consultants. 2008.
90. UNCTAD secretariat calculations: Based on the MDS Transmodal world cargo database. 2008.
91. UNCTAD secretariat calculations: Based on Clarksons Research (2009–2013), Container Intelligence Monthly, MDSTransmodal world cargo database (2009–2015 figures) and United Nations Economic Commission for Latin America and the Caribbean. 2010.
92. Wang, B., Wang, Z.: “Research on the Optimization of Intermodal Empty Container Reposition of Land-carriage,” *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 7(3): 29-33, 2007.
93. Wang, W.F., Yun, W.Y.: “Scheduling for Inland Container Truck and Train Transportation,” *International Journal of Production Economics*, In Press, Corrected Proof. 2011.

94. White, W. W.: "Dynamic Transshipment Networks: An Algorithm and Its Application to the Distribution of Empty Containers," *Networks*, 2(3): 211-236, 1972.
95. Winebrake, J. J., Corbett, J. J.; Falzarano, A.; Hawker, J. S.; Korfmacher, K.; Ketha, S.; Zilora, S.: "Assessing Energy, Environmental, and Economic Tradeoffs in Intermodal Freight Transportation," *Journal of the Air & Waste Management Association*, 58(8): 1004-1013, 2008.
96. Xue, Y. D., Irohara, T.: "A time-space network based international transportation scheduling problem incorporating CO<sub>2</sub> emission levels," *Journal of Zhejiang University – Science A (Applied Physics & Engineering)*, 11(12): 927-932, 2010.
97. Yang, X., Low, J. M. W., Tang, L. C.: "Analysis of Intermodal Freight from China to Indian Ocean: A Goal Programming Approach," *Journal of Transport Geography*, 19(4): 515-527, 2011.
98. Zeigler, B.P., *Theory of Modelling and Simulation*, John Wiley, New York, 1976.
99. Zhang, R., Yun, W. Y., Kopfer, H.: "Heuristic-based Truck Scheduling for Inland Container Transportation," *OR SPECTRUM*, 32(3): 787-808, 2010.
100. Zhang, R., Yun, W. Y., Moon, I.K.: "Modeling and Optimization of a Container Drayage Problem with Resource Constraints," *International Journal of Production Economics*, 133(1): 351-359, 2011.

## ПРИЛОГ 1

### Веб апликација

У дисертацији је развијена веб апликација која нам уношењем одређених захтева, такође приказује најповољнију транспортну руту. У првом кораку (слика 27) врши се произвољан одабир места поласка (држава, лука утовара) и допреме контејнера (држава, град допреме). Такође, може се извршити селекција и луке истовара.



Step 1 - Select point			
Port of loading	China	Shanghai	Required
Port of discharge	-- Select Country --	-- Select Location --	
Place of delivery	Serbia	Belgrade	Required

Слика 27. Одабир места отпреме и допреме контејнера

У другом кораку (слика 28) врши се одабир врсте робе која се може транспортовати (генерални терет, са температурним режимом, опасна роба, са специјалним димензијама). Дефинисање типа робе директно одређује тип контејнера (слика 4) који се узима у разматрање. Такође, у овом кораку дата је могућност одабира укупног броја контејнера различитих типова и тежина робе који директно утичу на апроксимацију излазног решења.

Step 2 - Define container type and number

Select type of cargo

Select type of container

Insert number of containers

Insert container weight

[Add more container type](#)

Слика 28. Дефинисање типа и броја контејнера

У трећем кораку (слика 29) дефинише се опсег посматраног времена када је потребно да исплови брод (сваки од бродара углавном 1 недељно испловљава из полазишних лука). Остављена је такође могућност одабира специфичног бродара. Каснијим итерацијама врши се пондерација критеријума као и дефинисање броја понуђених решења.



Step 3 - Route optimization

Start date From 01/01/2015 **Required**

End date To 01/04/2015 **Required**

Select operators Define specific operators

Cost % 50

Time % 25

Emission % 25



Select number of solutions Optimal

Слика 29. Пондерација критеријума

На слици 30 дат је приказ излазног решења. За дефинисане улазне параметре добијена је најповољнија рута Шангај – Ријека – Београд: изабрани бродар MAERSK LINE, прекрцајна лука Ријека, бродски сервис (AE12), пловило (AGAMEMNON), железничка отпрема од Ријеке до Београда. Укупно транзитно време 33 дана, транспортни трошак 2058 €, емисија угљен диоксида 1669,614 kgCO<sub>2</sub>/TEU. Такође, сваки од разматраних критеријума посебно је подељен и дефинисан за сваку од транспортних грана Шангај – Ријека као и Ријека – Београд. Кликом на бродски сервис добијамо јасну слику целокупне руте, док кликом на пловило добијемо податке о пловилу (табела 36).

Shanghai - Belgrade	
<b>Operator</b>	MAERSK LINE
<b>Transportation Cost</b>	2058€
<b>Transit Time</b>	33 days
<b>CO<sub>2</sub> Emission</b>	1669.614kg/TEU

Shanghai - Rijeka	
<b>From</b>	Shanghai
<b>Departure</b>	05.01.2015
<b>Service</b>	AE12 - Rijeka 
<b>Vessel</b>	AGAMEMNON 
<b>Arrival</b>	03.02.2015
<b>To</b>	Rijeka
<b>Transportation Cost</b>	1283 €
<b>Transit Time</b>	29days
<b>CO<sub>2</sub> Emission</b>	1533.084 kg/TEU

Rijeka - Belgrade	
<b>From</b>	Rijeka
<b>Departure</b>	05.02.2015
<b>Mode of transport</b>	Rails
<b>Arrival</b>	07.02.2015
<b>To</b>	Belgrade
<b>Transportation Cost</b>	575 €
<b>Port Cost</b>	200 €
<b>Transit Time</b>	2days
<b>CO<sub>2</sub> Emission</b>	136.53 kg/TEU

Слика 30. Решење модела - вишеатрибутивно одлучивање

Табела 36. Апроксимирана рута најповољнијег решења

Азија - Европа - АЕ12		РИЈЕКА					
Фреквенција	Недељно	Пловило	Оператер	Номинални капацитет	Dwt	Година	Застава
Број пловила	10						
Број претоварних лука	15						
Трајање пловидбе	70 Дана						
		CMA CGM LAMARTINE	CMA- CGM	6 574	85 408	2010	UNITED KINGDOM
		MAERSK KARLSKRONA	MAERSK SEALAND	7 908	90 456	1996	LIBERIA
		CMA CGM MAUPASSANT	CMA- CGM	6 574	83 400	2010	UNITED KINGDOM
<b>SHANGHAI</b>	<b>0</b>	MAERSK KOTKA	MAERSK SEALAND	7 413	90 456	1996	LIBERIA
BUSAN	1	CMA CGM BERLIOZ	CMA- CGM	6 627	80 259	2001	CYPRUS
CHIWAN	5	MAERSK KAWASAKI	MAERSK SEALAND	7 403	90 456	1997	GREECE
HONG KONG	6	CMA CGM BALZAC	CMA- CGM	6 447	77 941	2001	GERMANY
TANJUNG PELEPAS	10	MAERSK KLEVEN	MAERSK SEALAND	7 908	84 900	1996	LIBERIA
PORT SAID EAST	21	CMA CGM CORNEILLE	CMA- CGM	6 572	85 408	2009	LIBERIA
BEIRUT	23	AGAMEMNON	MAERSK SEALAND	7 943	103 773	2007	LIBERIA
TRIESTE	27						
KOPER	28						
<b>RIJEKA</b>	<b>29</b>						
TRIESTE	33						

**T/T = 29 dana**

## ПРИЛОГ 2

### Ауторизација

Израдио	Одобрио
Име: <b>Радослав Рајковић</b> <i>Logistic freight manager</i>	Име: <b>Никола Мијаиловић</b> <i>Multimodal department director</i>
Потпис:	Потпис:
Датум: 01.07.2016.	Датум: 01.07.2016.

### Преглед измена

Ревизија бр.	Датум примене	Опис измене	Извршио измену
00	01.07.2016.	Основни документ	РР

## **1. Циљ**

Циљ ове процедуре је да омогући кориснику да приступи МСО веб апликацији и да омогући кориснику да самосталано креира нове пошиљке и отпреме и да генерише контејнере (конзоле) као и да омогући рад са конзолом.

## **2. Област примене**

Ова процедура је намењена свим корисницима који имају права приступа МСО веб апликацији.

## **3. Одговорности**

Корисници система су одговорни за доследну примену активности описаних овим СОП-ом.

Администратор система је дужан да прати рад веб апликације и да отклони сметње у раду веб апликације уколико се појаве.

## **4. Дефиниције и скраћенице**

- 4.1 Веб апликација – је апликација којој се приступа од стране корисника преко интернета.
- 4.2 Тренд – Графички приказ мерених величина приказаних у времену
- 4.3 Веб претрживач - програм који кориснику омогућава прегледање и читавање веб страница (google chrome, Mozilla firefox, итд...)
- 4.4 Shipment – Пошиљка
- 4.5 Free hands – Отпрема
- 4.6 Console - Конзола

## **5. Опис активности**

- 5.1 Приступ и логовање на систем

Потребно је отворити веб претраживач и укупати следећу урл адресу:

<http://agent.mco-software.com>

Након отварања веб стране потребно је унети е-mail и лозинку (слика 1). Е-mail је увек у формату [ime.prezime@agp.rs](mailto:ime.prezime@agp.rs), а лозинка је додељена сваком кориснику од стране администратора система.

Home

**Login**

Email

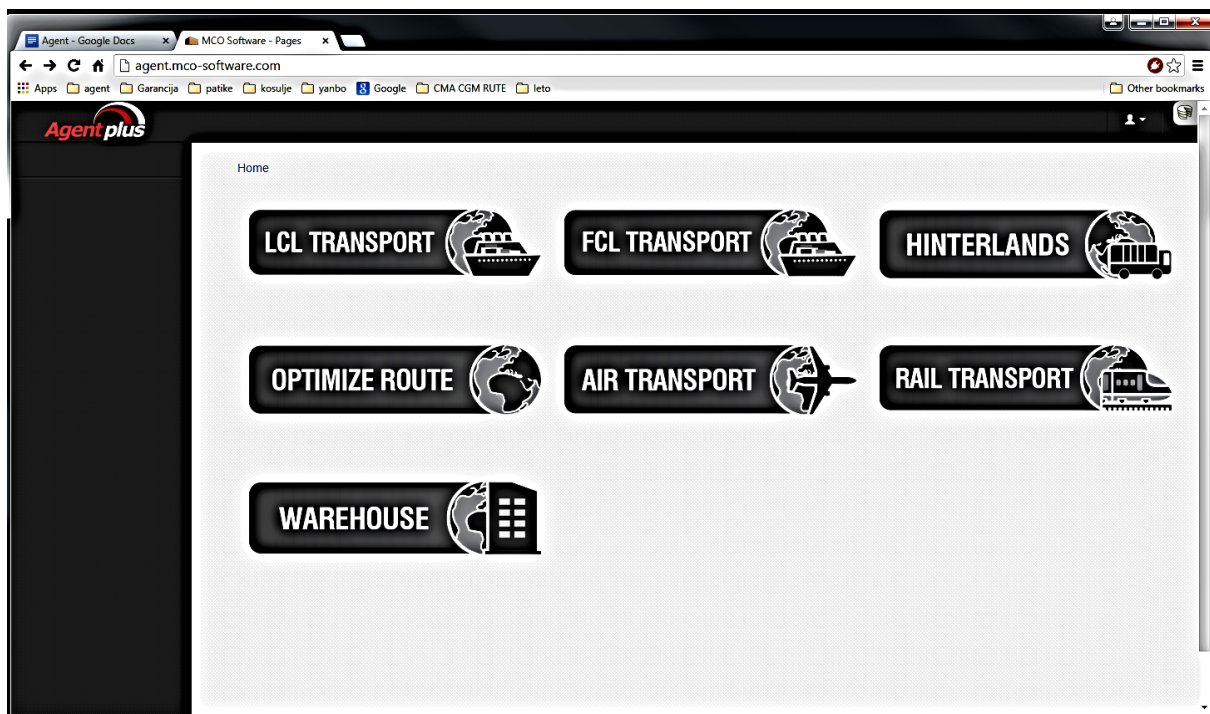
Password

Login

Слика 1.

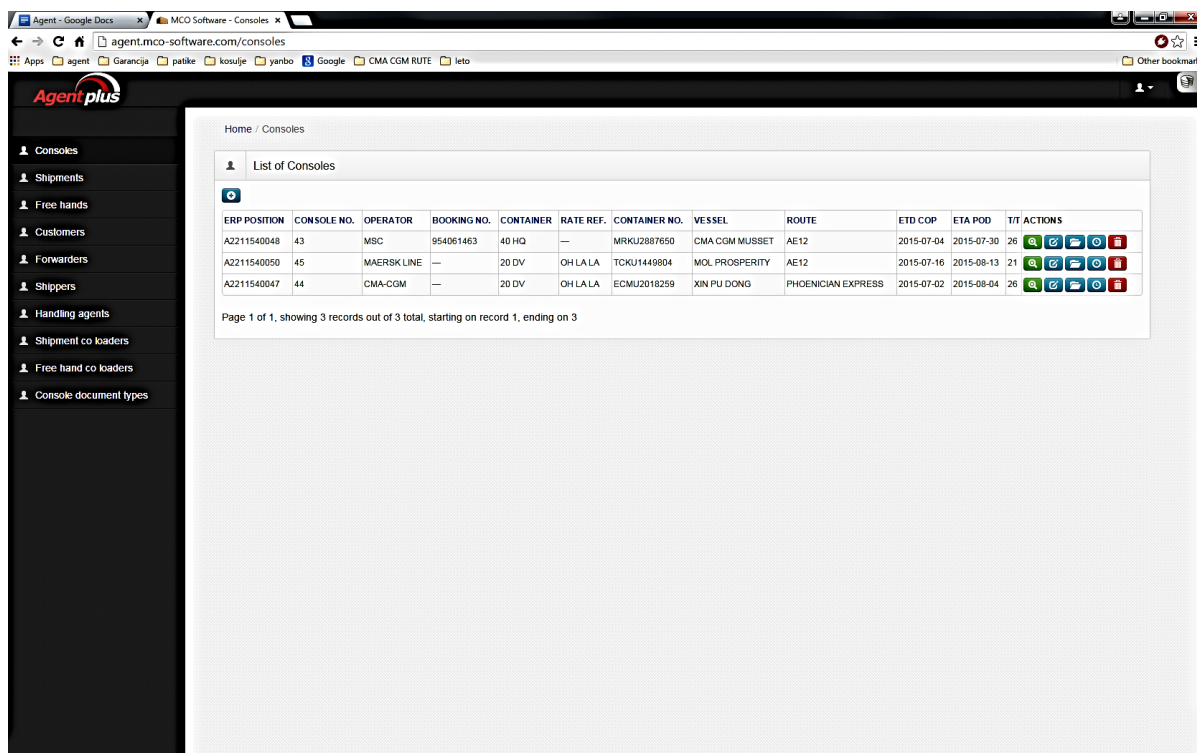
## 5.2 Опис система

Након логовања појавиће се страна приказана на слици 2.



Слика 2.

На слици 2 су приказани сви модули. Овај СОП је намењен за обуку корисника за коришћење LCL транспорт модула. Потребно је кликнути на иконицу LCL транспорт. Отвориће се нова страна приказана на слици 3.



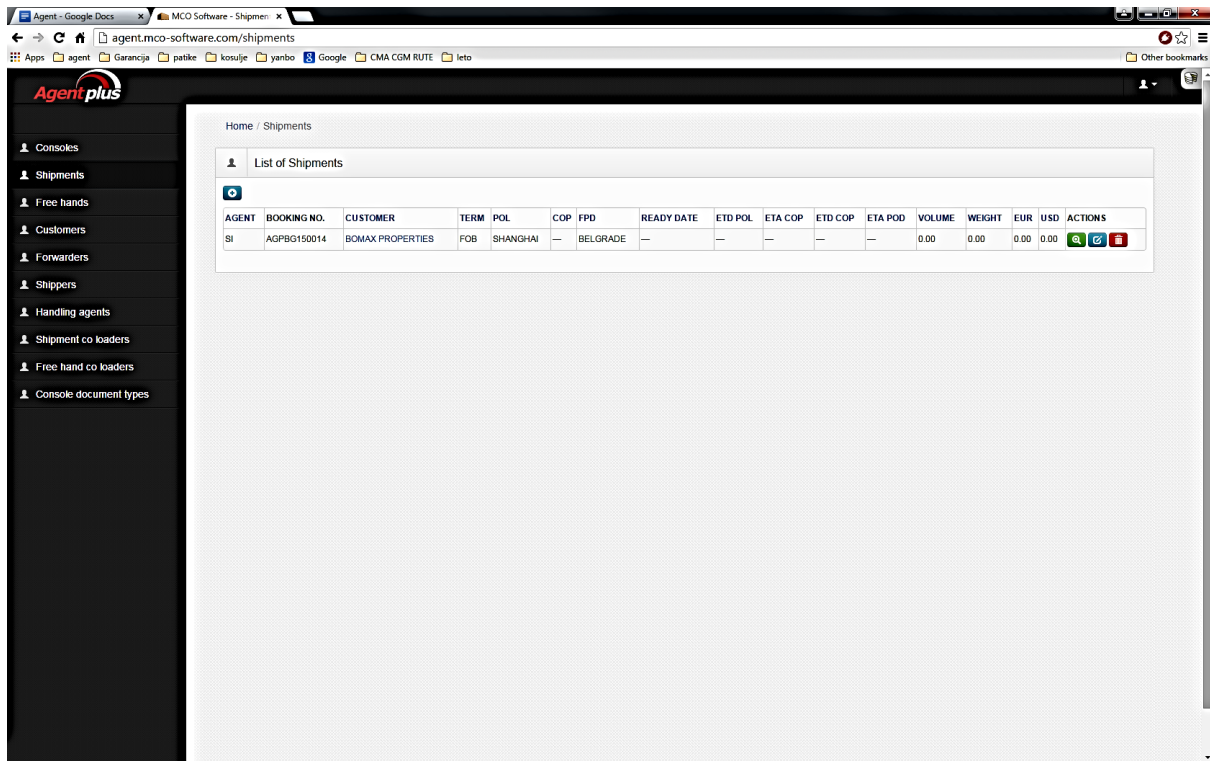
Слика 3.

Са леве стране је приказан мени са ентитетима, а са десне стране је приказан садржај сваког ентитета. Крајњи циљ овог СОП-а је да омогући кориснику да направи, прати стање и затвори конзолу (**CONSOLE**).





Да би се конзола направила потребно је направити нове пошиљке (**SHIPMENTS**) и отпреме **FREE HANDS**.


### 5.3 Прављење нове пошиљке (**SHIPMENTS**)

Кликом на ентитет *Shipments*, у менију, отвориће се страна приказана на слици 4.

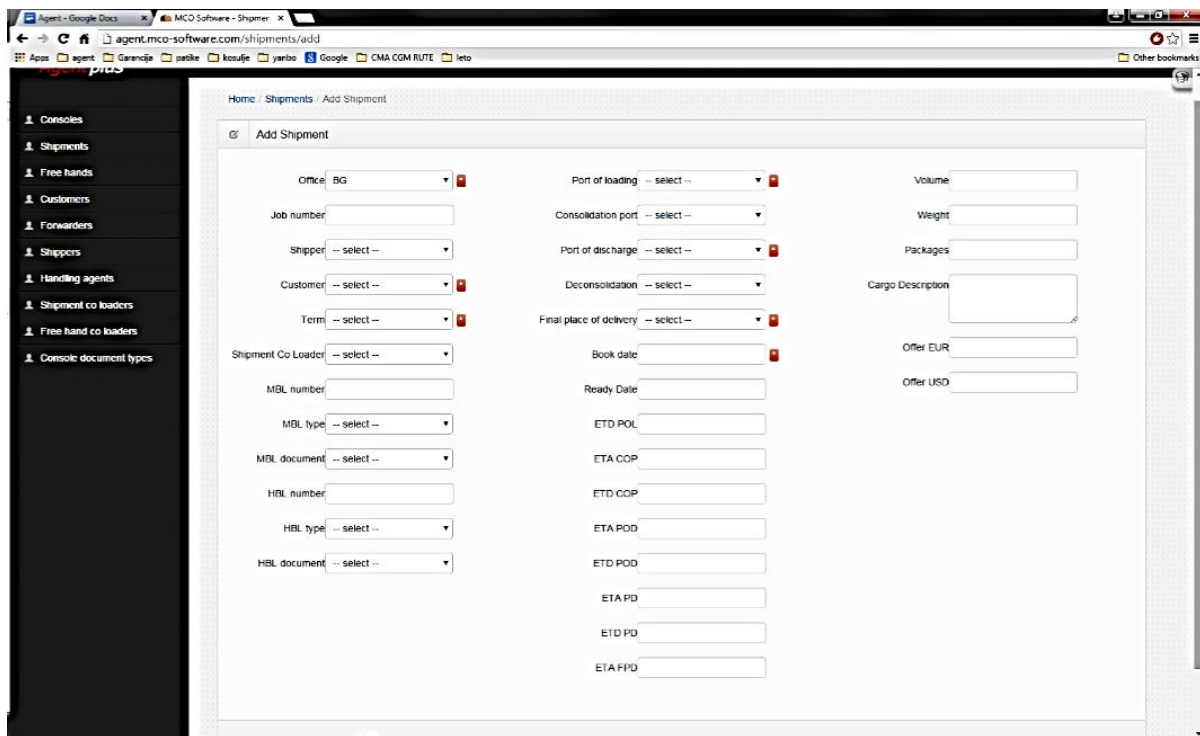


Слика 4.

На страни се исписују све пошиљке које нису додељене конзоли. Потребно је направити нову пошиљку. Кликом на дугме  отвориће се нова страна (слика 5) где је потребно унети сва поља обележена са  која означавају поља која морају да буду попуњена да би се направила пошиљка. Остала поља на страни нису обавезна и сва поља могу поново да се мењају кликом на дугме . Такође, свака направљена пошиљка са свим унетим информацијама може да се види кликом на дугме . Када је пошиљка направљена потребно је убацити пошиљку у конзолу. Овај процес ће бити објашњен у поглављу 5.4

**Напомена:** На страни где су исписане све пошиљке (слика 4.) су приказане основне информације везане за пошиљку. Детаљнији преглед пошиљке се добија кликом на дугме .

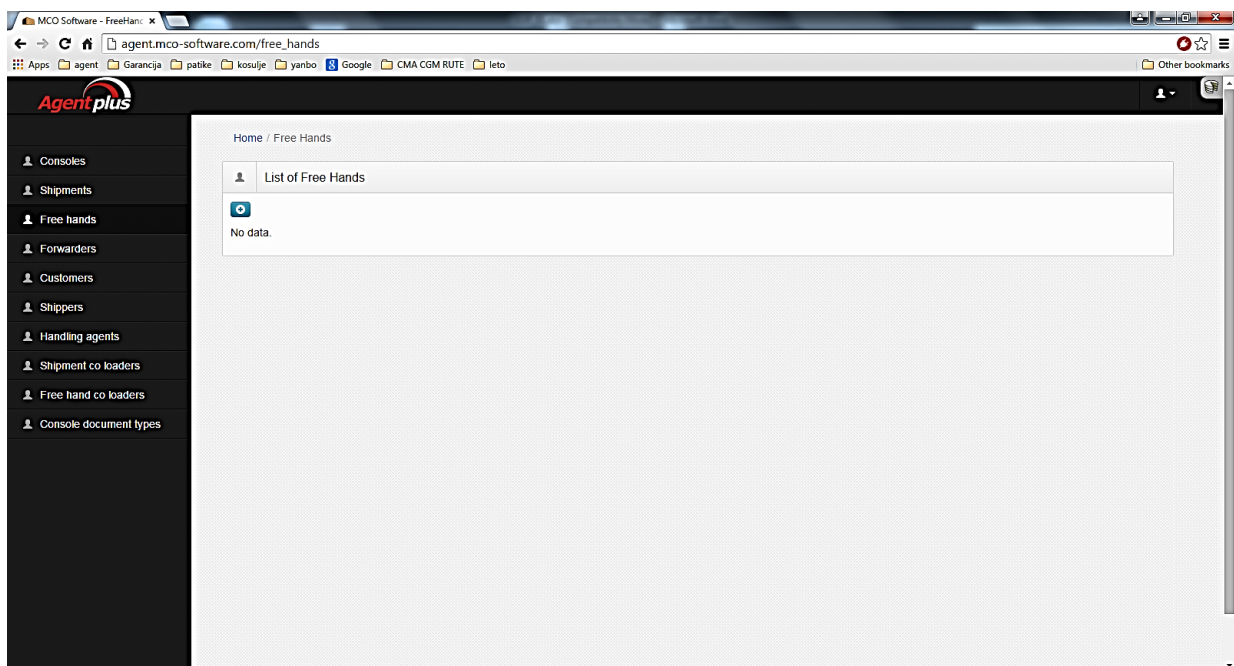








Слика 5.


#### 5.4 Прављење нове отпреме (*FREE HANDS*)

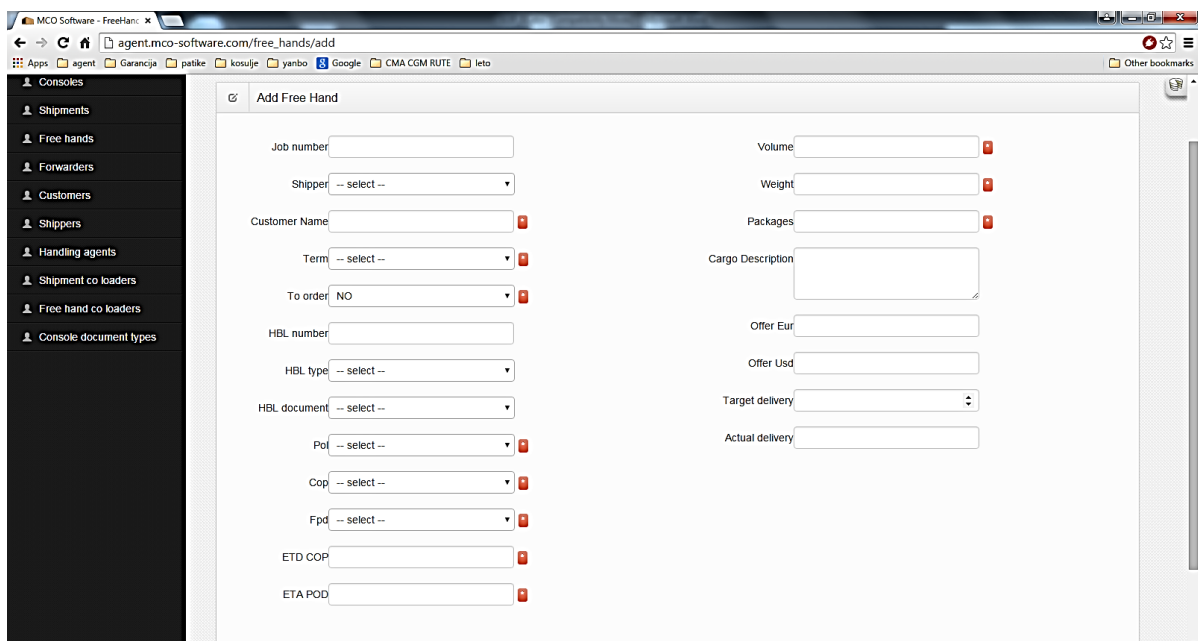
Кликом на ентитет *Free hands*, у менију, отвориће се страна приказана на слици 6.



Слика 6.

На страни се исписују све отпреме које нису додељене конзоли. Потребно је направити нову отпрему. Кликом на дугме  отвориће се нова страна (слика 7) где је потребно унети сва поља обележена са  која означавају поља која морају да буду попуњена да би се направила нова отпрема. Остала поља на страни нису обавезна и сва поља могу поново да се мењају кликом на дугме . Такође, свака направљена пошиљка са свим унетим информацијама може да се види кликом на дугме . Када је отпрема направљена потребно је убацити отпрему у конзолу. Овај процес ће бити објашњен у поглављу 5.5.

**Напомена:** На страни где су исписане све отпреме (слика 6) су приказане основне информације везане за отпрему. Детаљнији преглед отпреме се добија кликом на дугме .



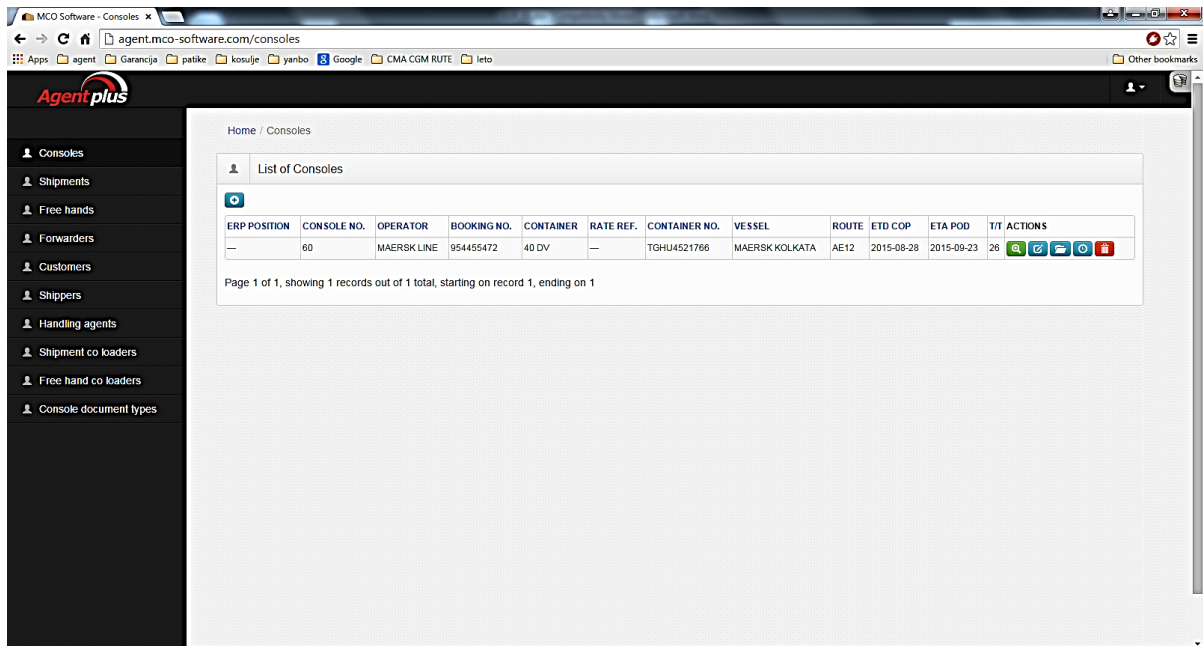
The screenshot shows a web browser window with the URL `agent.mco-software.com/free_hands/add`. The page title is "Add Free Hand". On the left, there is a dark sidebar menu with the following items: Consoles, Shipments, Free hands, Forwarders, Customers, Shippers, Handling agents, Shipment co loaders, Free hand co loaders, and Console document types. The main content area contains a form with the following fields:

- Job number (text input)
- Shipper (dropdown menu, value: -- select --)
- Customer Name (text input)
- Term (dropdown menu, value: -- select --)
- To order (dropdown menu, value: NO)
- HBL number (text input)
- HBL type (dropdown menu, value: -- select --)
- HBL document (dropdown menu, value: -- select --)
- Pol (dropdown menu, value: -- select --)
- Cop (dropdown menu, value: -- select --)
- Fpd (dropdown menu, value: -- select --)
- ETD COP (text input)
- ETA POD (text input)
- Volume (text input)
- Weight (text input)
- Packages (text input)
- Cargo Description (text area)
- Offer Eur (text input)
- Offer Usd (text input)
- Target delivery (dropdown menu)
- Actual delivery (text input)

Слика 7.





## 5.5 Pravljenje nove konzole i upravljanje konzolom


Кликом на ентитет *Console*, у менију, отвориће се страна приказана на слици 8.

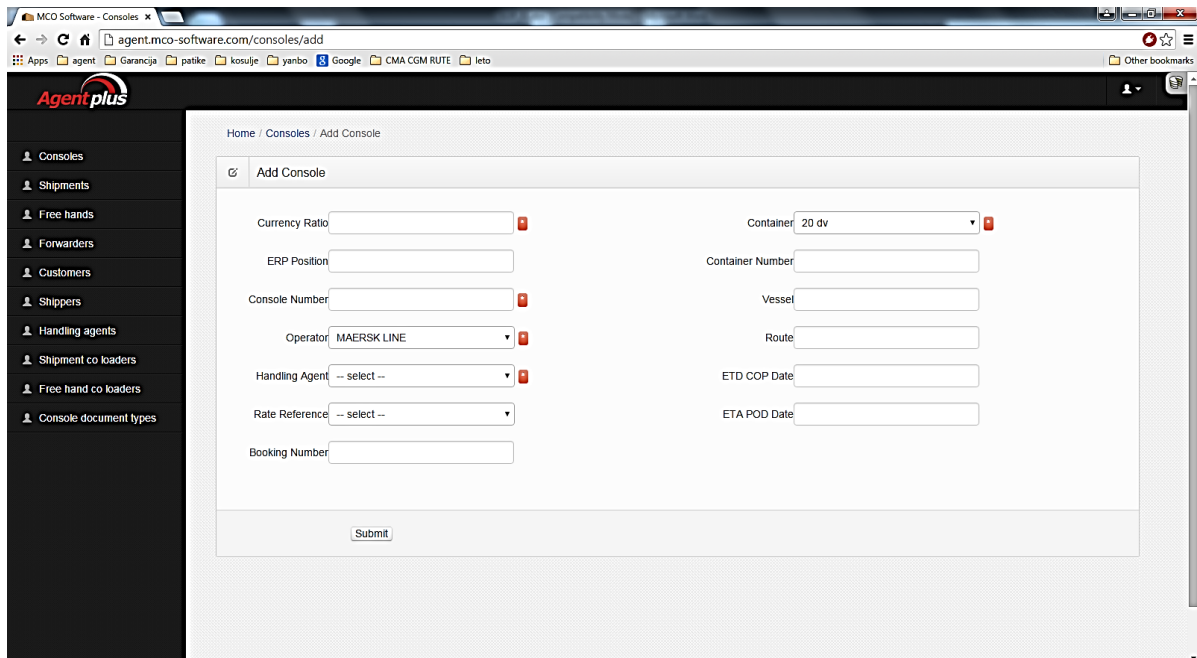


Слика 8.


На страни се исписују списак свих направљених конзола. Потребно је направити нову конзолу и њој доделити пошиљке и отпреме направљене у предходним поглављима.

Кликом на дугме  отвориће се нова страна (слика 9) где је потребно унети сва поља обележена са  која означавају поља која морају да буду попуњена да би се направила нова конзола. Остала поља на страни нису обавезна и сва поља могу поново да се мењају кликом на дугме . Такође, свака направљена конзола са свим унетим информацијама може да се види кликом на дугме .

**Напомена:** На страни где су исписане све конзоле (слика 8.) су приказане основне информације везане за конзолу. Детаљнији преглед конзоле се добија кликом на дугме .



Слика 9.

Када се направи конзола постаје видљива на страни приказаној на слици 8. Клик на иконицу  отвориће се детаљан преглед конзоле (слика 10).

**CONSOLE REPORT - INITIAL CALCULATION**

CONSOLE STATUS	ERP POSITION	CONSOLE NO.	OPERATOR	RATE REFERENCE	BOOKING NO.	CONTAINER	CONTAINER NO.	VESSEL	ROUTE	ETD COP	ETA POD	T/T
NEW	—	60	MAERSK LINE	—	954455472	40 DV	TGHU4521766	MAERSK KOLKATA	AE12	2015-08-28	2015-09-23	26

**INCOME**

BOOKING NO.	CUSTOMER	TERM POL	COP	FPD	READY DATE	ETD POL	ETD COP	ETA POD	ETA FPD	T/T	VOLUME	WEIGHT	PACKAGES	EUR	USD		
AGPBG150001	ESENSA DOO	FOB QINGDAO	HONG KONG	BELGRADE	2015-08-05	2015-08-14	2015-09-28	2015-09-23	—	—	8.74	6,535.00	23	495.00	0.00		
AGPBG150002	LUCE DOO	FOB SHENZHEN	HONG KONG	BELGRADE	2015-08-13	2015-08-17	2015-08-28	2015-09-23	—	—	1.08	208.00	26	55.00	0.00		
AGPBG150003	TEHNODENT DOO	EXW SHEKOU	HONG KONG	BELGRADE	2015-08-19	2015-08-24	2015-08-28	2015-09-23	—	—	11.07	1,560.00	6	730.00	600.00		
AGPBG150004	OBUČA METRO DOO	FOB SHENZHEN	HONG KONG	BELGRADE	2015-08-16	2015-08-24	2015-08-28	2015-09-23	—	—	7.40	520.00	40	465.00	0.00		
AGPBG150005	MEDIA PLANET DOO	FOB BUSAN	HONG KONG	BELGRADE	2015-08-18	2015-08-19	2015-08-28	2015-09-23	—	—	10.30	1,475.39	168	1,010.00	0.00		
AGPBG150006	OBUČA METRO DOO	FOB XIAMEN	HONG KONG	BELGRADE	2015-08-05	2015-08-09	2015-08-28	2015-09-23	—	—	10.86	1,000.00	100	495.00	0.00		
-	WORLD OF BEAUTY DOO	CIF XIAMEN	HONG KONG	KOPER	-	-	2015-08-28	2015-09-23	-	-	1.05	180.00	20	40.53	372.91		
-	BRA-DO-MA J.D.O.O.	CIF GUANGZHOU	HONG KONG	RUEKA	-	-	2015-08-28	2015-09-23	-	-	0.84	110.30	3	40.00	407.94		
<b>TOTAL:</b>													<b>51.339</b>	<b>11588.69</b>	<b>386</b>	<b>3,330.53</b>	<b>1,380.85</b>

CURRENCY RATIO (EUR / USD) 1.128

**CHARGES**

OCEAN FREIGHT	PORT COST	TRANSIT - AGP	CHASSIS	OVERWEIGHT	WAREHOUSE DSV	TRANSIT - DSV	TAUTLINER	WAREHOUSE AGP	DSV DELIVERY	CHARTER LINK	CO-LOADER	FPD DELIVERY
250 USD	200 EUR	20 EUR	350 EUR	— EUR	150 EUR	15 EUR	350 EUR	115 EUR	69.56 USD	2070.39 USD	— USD	— USD

**TOTAL PROFIT**


AGP BELGRADE	AGP ZAGREB	PERCENTAGE OF SALES
1,195.94 EUR	40.00 EUR	37%


Слика 10.

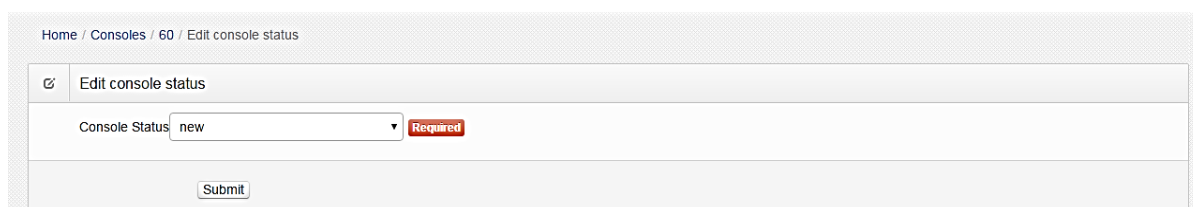
Свака конзола садржи свој мени који је потребан за рад са пошиљкама, отпремама и самом конзолом (слика 11).




Слика 11.


Клик на иконицу  води вас на страну где су приказане све конзоле (слика 8).

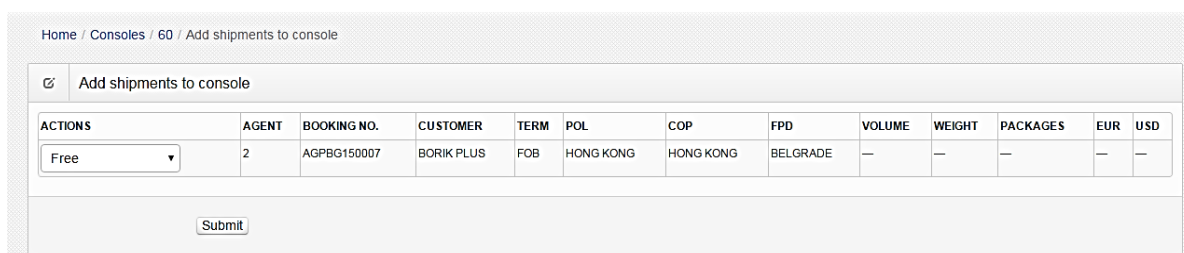
Кликом на дугме  отвара се нова страна где се види и мења статус конзоле у зависности од стања у ком се налази (слика 12). Додавање и мењање пошиљки и отпрема у конзоли је могуће је када је конзола у статусу „*new*“, чим се тај статус промени више није могуће радити са пошиљкама и отпремама унутар конзоле.



Слика 12.


Кликом на дугме  отвара се нова страна на којој могу да се промене све информације које су унете приликом отварања конзоле.

Кликом на дугме  отвара се нова страна приказана на слици 13 на којој могу да се конзоли доделе нове пошиљке. На пољу обележено „*ACTIONS*“ треба да се промени статус пошиљке са „*Free*“ на „*add to console*“ како би се пошиљка доделила конзоли.



ACTIONS	AGENT	BOOKING NO.	CUSTOMER	TERM	POL	COP	FPD	VOLUME	WEIGHT	PACKAGES	EUR	USD
Free	2	AGPBG150007	BORIK PLUS	FOB	HONG KONG	HONG KONG	BELGRADE	—	—	—	—	—

Слика 13.

Кликом на дугме  отвара се нова страна приказана на слици 14 на којој могу да се конзоли доделе нове отпреме. На пољу обележено „*ACTIONS*“ треба да се промени статус отпреме са „*Free*“ на „*add to console*“ како би се отпреме доделила конзоли

Home / Consoles / 60 / Add free hands to console

☞ Add free hands to console

ACTIONS	CUSTOMER	POL	COP	FPD	VOLUME	WEIGHT	PACKAGES	EUR	USD
Free	YORDO	SHANGHAI	SHANGHAI	BELGRADE	12	12	12	—	—

Submit

Слика 14.

Кликом на дугме [Edit incomes](#) отвара се страна приказана на слици 15. На страни је могуће видети све пошиљке и отпреме које су додељене конзоли и променом статуса са *Added to console* на *Set free* се избацује пошиљка или отпрема из конзоле. Када се промени статус пошиљке и\или отпреме аутоматски прелазе на стране *Shipment* и\или *Free hands*.

Home / Consoles / 60 / Edit console incomes

☞ Edit console incomes

**Shipments**

ACTIONS	AGENT	BOOKING NO.	CUSTOMER	TERM	POL	COP	FPD	VOLUME	WEIGHT	PACKAGES	EUR	USD
Added to console	3	AGPBG150001	ESENSA DOO	FOB	QINGDAO	HONG KONG	BELGRADE	8.74	6535	23	495	—
Added to console	3	AGPBG150002	LUCE DOO	FOB	SHENZHEN	HONG KONG	BELGRADE	1.082	208	26	55	—
Added to console	3	AGPBG150003	TEHNODENT DOO	EXW	SHEKOU	HONG KONG	BELGRADE	11.07	1560	6	730	600
Added to console	3	AGPBG150004	OBUĆA METRO DOO	FOB	SHENZHEN	HONG KONG	BELGRADE	7.395	520	40	465	—
Added to console	3	AGPBG150005	MEDIA PLANET DOO	FOB	BUSAN	HONG KONG	BELGRADE	10.3	1475.39	168	1010	—
Added to console	3	AGPBG150006	OBUĆA METRO DOO	FOB	XIAMEN	HONG KONG	BELGRADE	10.859	1000	100	495	—

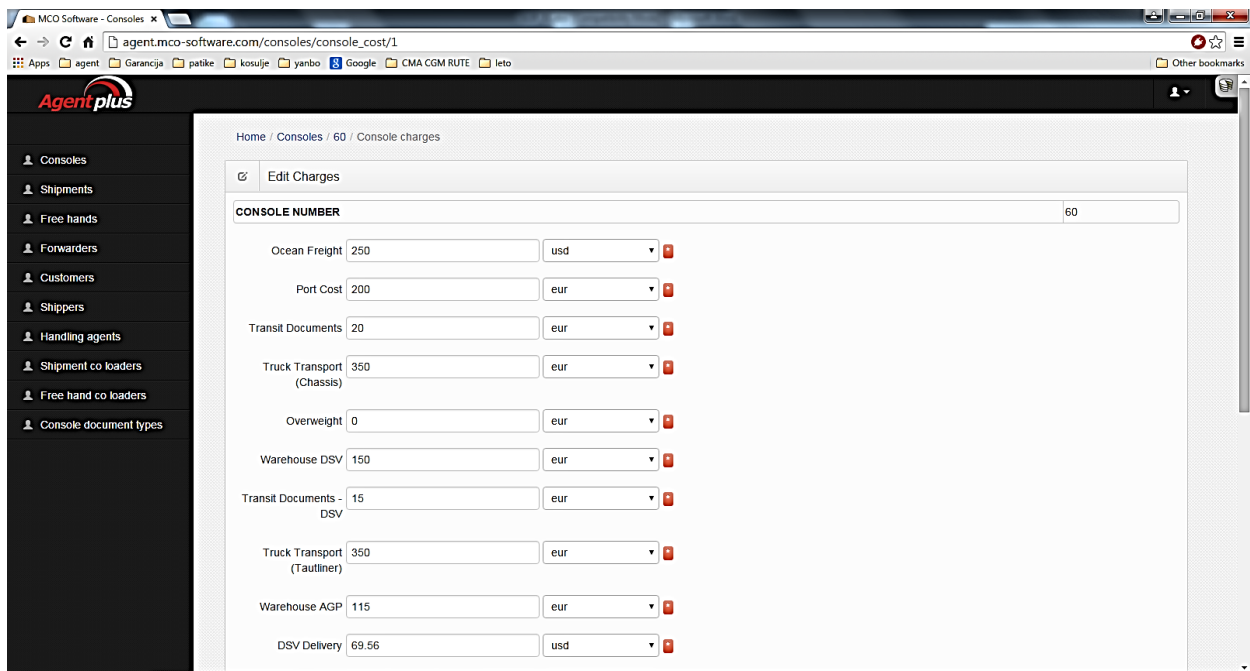
**Free hands**

ACTIONS	CUSTOMER	POL	COP	FPD	VOLUME	WEIGHT	PACKAGES	EUR	USD
Added to console	WORLD OF BEAUTY DOO	XIAMEN	HONG KONG	KOPER	1.053	180	20	40.53	372.91
Added to console	BRA-DO-MA J.D.O.O.	GUANGZHOU	HONG KONG	RUEKA	0.84	110.3	3	40	407.94

Submit

Слика 15.

Кликом на дугме [Edit charges](#) отвара се страна приказана на слици 16 на којој су приказани трошкови за конзолу. Приликом отварања нове конзоле у трошкове се аутоматски уписују неке вредности, које су фиксне ради бржег попуњавања саме табеле, трошкови који могу да се промене у сваком тренутку.



Слика 16.

6. Записи

Нема.

7. Прилози

Нема.

## Биографија

Име и презиме: Радослав З. Рајковић

Датум рођења: 22.март 1986.

Место рођења: Београд

2001. – 2005. Земунска гимназија, Београд, Смер: природно-математички

2005. – 2010. Основне академске студије, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, водни саобраћај и транспорт (просечна оцена током студирања 8,93). Завршни рад одбранио са оценом 10.

2010. – 2010. Мастер академске студије, Саобраћајни факултет Универзитета у Београду, водни саобраћај и транспорт (просечна оцена током студирања 9,28).

2010. – Мастер инжењер саобраћаја. Мастер рад одбранио 30. децембра са оценом 10 и укупном просечном оценом током студирања 9,08.

2011. – Уписао 25. јануара 2012. године докторске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду, где је успешно положио све испите са просечном оценом 10.

Од 01. новембра 2011. године запослен у Иновационом центру Машинског факултета Универзитета у Београду као сарадник на пројекту технолошког развоја под називом: „Развој софтвера и националне базе података за стратешко управљање развојем транспортних средстава и инфраструктуре у друмском, железничком, ваздушном и водном саобраћају применом европских транспортних мрежних модела“, који финансира Министарство за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије. Такође, кроз вишегодишњи рад у привреди кандидат је стекао практична знања.

Од 04. марта 2013. до 01. децембра 2016. године радио је као менаџер мултимодалног транспорта у поморско-речној агенцији Агент Плус, водећој домаћој компанији у пружању логистичких услуга на територији Србије.

Од 01. децембар 2016. године до 01. септембра 2017. радио је као менаџер развоја контејнерског транспорта у компанији Voxline, водећој италијанској компанији у пружању збирног контејнерског транспорта на територији Србије.

Од 01. септембра 2017. године - ради као менаџер развоја контејнерског транспорта у компанији Dragon Maritime SEE d.o.o., агенту бродара COSCO, једног од највећих светских бродара и водећих бродара на територији Србије.



Од 01. децембра 2015. године до 30. Јуна 2016. – учествује на међународном пројекту „START - Danube Region Project Fund“ под називом „Measurement of reliability in inland navigation along the Danube fairway“

Од 01. јануара 2017. – учествује на међународном пројекту „Interreg“ под називом „DBS GATEWAY REGION - REGIONAL AND TRANSPORT DEVELOPMENT IN THE DANUBE-BLACK SEA REGION TOWARDS A TRANSNATIONAL MULTIPORT GATEWAY REGION“

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду, од 04. септембра 2014., изабран је у звање „истраживач сарадник“.

## Прилог 1.

### Изјава о ауторству

Потписани Радослав З. Рајковић

број индекса Д- 37/11

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

#### Вишекритеријумско одлучивање у транспорту контејнера

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

**Потпис докторанта**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Прилог 2.

### Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: **Радослав З. Рајковић**

Број индекса: **Д-37/11**

Студијски програм: \_\_\_\_\_

Наслов рада: **Вишекритеријумско одлучивање у транспорту контејнера**

Ментор: **др Ненад Зрнић**, редовни професор, Универзитет у Београду,  
Машински факултет

Потписани: **Радослав З. Рајковић**

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис докторанта**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

### Прилог 3.

#### Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

#### Вишекритеријумско одлучивање у транспорту контејнера

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

**Потпис докторанта**

У Београду, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

1. Ауторство - Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
5. Ауторство – без прераде. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.